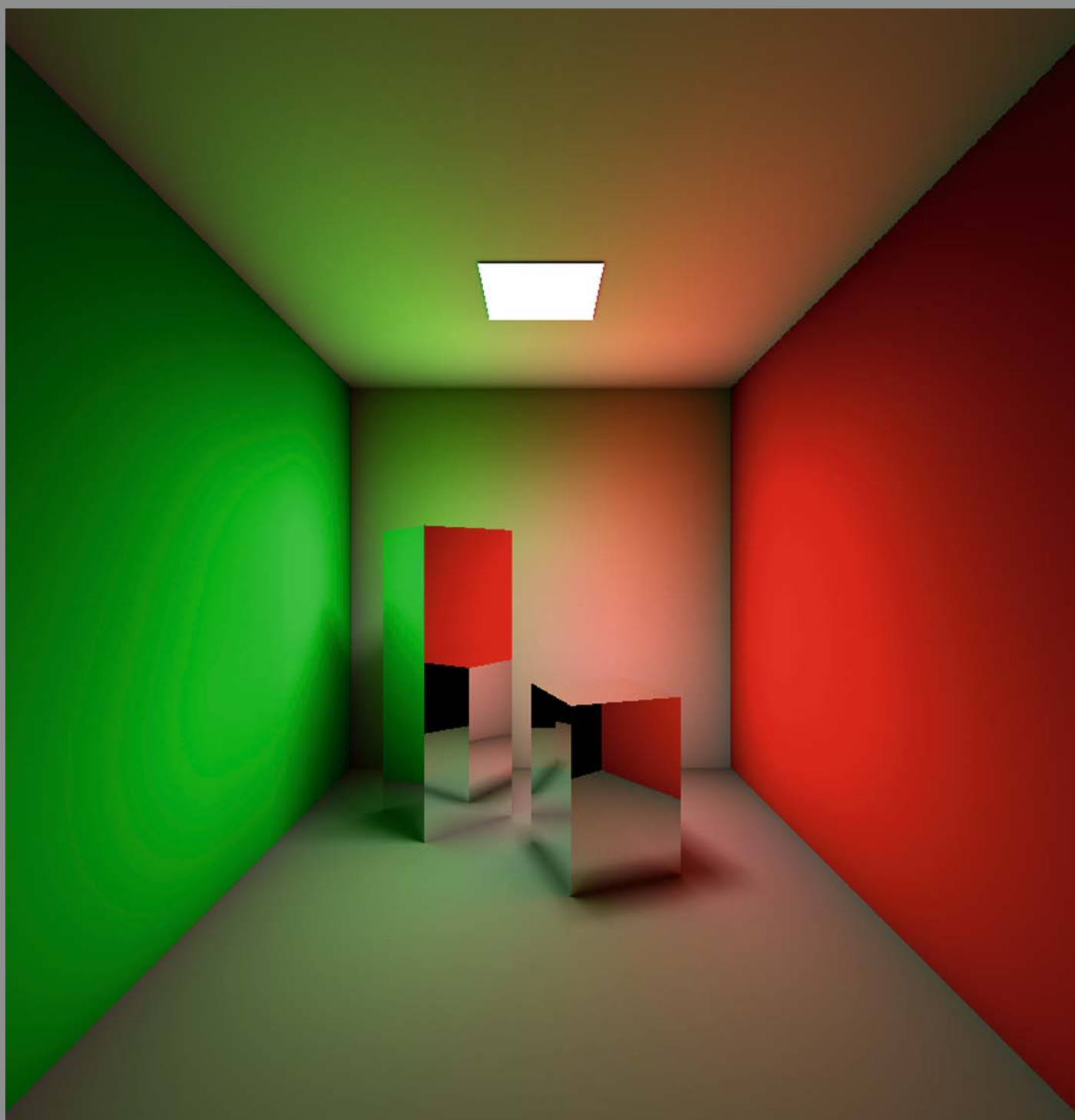


ISSN 0039-7067

# СВЕТО 1·2017 ТЕХНИКА



# interlight

MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка декоративного  
и технического освещения, электротехники  
и автоматизации зданий

**7 - 10 ноября 2017**

ЦВК «Экспоцентр»

Москва



[www.interlight-moscow.ru](http://www.interlight-moscow.ru)



messe frankfurt

# ОСВЕЩЕНИЕ ГИПЕРМАРКЕТА «ГЛОБУС»

г. КЛИМОВСК



Международная розничная сеть гипермаркетов «Глобус» предъявляет высокие требования к используемому оборудованию. Особое внимание уделяется свету, поскольку правильное освещение не только делает посещение магазина более комфортным, но и увеличивает продажи.

Если для общего освещения необходимы источники света со стандартной цветовой температурой 3000 или 4000 К, то для освещения таких продуктов питания, как хлебобулочные изделия, овощи, фрукты, рыба и мясо, используют источники света со специальными характеристиками. Так, в гипермаркете «Глобус» весь мясной отдел освещён светильниками производства компании «Смарт Лампс» со светодиодными модулями Vossloh-Schwabe серии «Food».

В потолочных светильниках «downlight» установлены COB модули DMS12CP19G с эффектом «розового мяса». Они создают общее освещение отдела. В витринах установлены светодиодные модули «LED Line AluFix LUGA FOOD» со специальной оптикой и алюминиевым профилированным основанием для удобства монтажа. Данные линейные модули также изготовлены по технологии COB, что позволяет получать равномерное, а не «точечное» освещение.

## LUGA Shop Gen. 5

- **БОЛЬШОЙ СРОК СЛУЖБЫ: ДО 55 000 Ч (L90/B10)**
- **ГИБКОЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСРЕДСТВОМ РАЗЛИЧНОЙ ОПТИКИ**
- **ДЛИНА: ОТ 280 ДО 3400 ММ И БОЛЕЕ**
- **ВЫСОКАЯ СВЕТОВАЯ ОТДАЧА: ДО 157 ЛМ/Вт**
- **ТОЧНОСТЬ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ: 3 SDCM**
- **ГАРАНТИЯ ДО 5 ЛЕТ**



**Компания «Смарт Лампс» (ООО)**  
 Ярославское ш, вл. 3 | [495] 668-0670  
 info@smartlamps.ru | www.smartlamps.ru

**УЧРЕДИТЕЛЬ:**

ООО «Редакция журнала «Светотехника»

Шеф-редактор  
**Ю.Б. Аизенберг**, д.т.н., проф., академик  
АЭН РФИ.о. главного редактора  
**В.П. Будак**, д.т.н., проф.; BudakVP@gmail.comЗам. главного редактора и научный редактор  
англоязычной версии  
**Р.И. Столяревская**, д.т.н.; lights-nr@inbox.ru**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:****Г.В. Боос**, председатель редакционной  
коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва  
**С.Г. Ашурков**, к.т.н., Москва  
**В.Е. Бугров**, д.ф.-м.н., проф., Университет  
ИТМО, С.-Петербург  
**Н.В. Быстрянцева**, к. арх., Университет ИТМО,  
С.-Петербург**Л.П. Варфоломеев**, к.т.н., Москва  
**П.П. Зак**, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва  
**А.А. Коробко**, к.т.н., УК «БЛ Групп», Москва  
**Л.Г. Новаковский**, к.т.н., Фарос-Алеф, Москва  
**А.Т. Овчаров**, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск  
**Л.Б. Прикупец**, к.т.н., ВНИСИим. С.И. Вавилова, Москва  
**В.М. Пятигорский**, к.т.н., ВНИСИ  
им. С.И. Вавилова, Москва  
**А.К. Соловьёв**, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ»,  
Москва**К.А. Томский**, д.т.н., проф., СПбГИКИТ,  
С.-Петербург**А.Г. Шахпарунянц**, к.т.н., ВНИСИ  
им. С.И. Вавилова, Москва  
**Н.И. Щепетков**, д. арх., МАРХИ (ГА), Москва**129626, Москва, проспект Мира,  
106, ВНИСИ, оф. 327**Тел. 7(495)682-26-54  
7(499)706-80-65

Тел./факс: 7(495)682-58-46

E-mail: journal.svetotekhnika@mail.ru

Интернет: www.sveto-tekhnika.ru

Электронная версия журнала: www.elibrary.ru

**РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:**Генеральный директор  
**Н.С. Шерри**; sherri@bl-g.ruСтарший научный редактор  
**Е.И. Розовский**; lamptech@mail.ruНаучный редактор  
**С.Г. Ашурков**; sveto-nr@yandex.ruВыпускающий редактор  
**П.А. Федорищев**; fedorishchev@gmail.comЗав. редакцией  
**Л.В. Шелатуркина**; zav.red@list.ruМенеджер-референт  
**М.И. Титаренко**; zav.red@list.ruАдминистратор сайта  
**Е.М. Новикова**Стилист английской версии  
**М.Д. Виноградова**Секретарь редакции  
**А.В. Лукина**; journal.svetotekhnika@mail.ruДизайнер-верстальщик  
**А.М. Богданов**Перепечатка статей и материалов из журнала «Светотехника» –  
только с разрешения редакции.  
За содержание и редакцию информационных материалов  
ответственность несет источник информации.  
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей

Сдано в набор 19.01.17

Подписано в печать 15.02.17

Формат 60x88 1/8. Печ.л. 10,00

Тираж 1200

Отпечатано в типографии ООО «Агентство Море»  
101898, Москва, Хохловский пер., д. 9

# СОДЕРЖАНИЕ

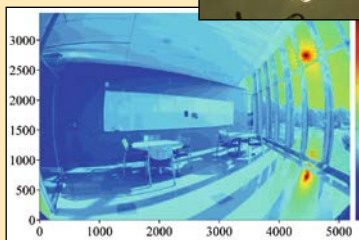
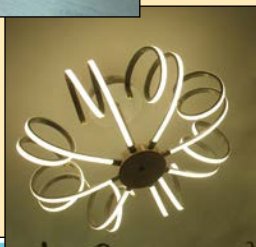
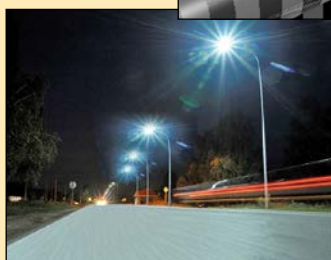
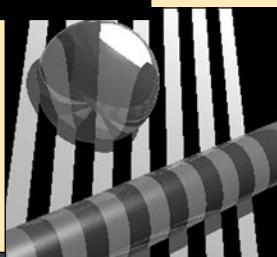
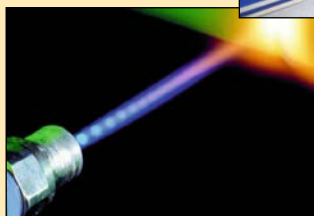
## В НОМЕРЕ

- Бизнес и инновации** 4, 23, 27, 31, 42, 48, 54, 65
- Сложный период в деятельности журнала** 6
- Новые руководители журнала:** Главный редактор журнала «Светотехника»  
В.П. Будак и Генеральный директор ООО «Редакция журнала  
«Светотехника» Н.С. Шерри 8
- Лишик С.И., Поседейко В.С., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И.** Современное  
состояние, тенденции и перспективы развития светодиодов  
для освещения 9
- Будак В.П., Желтов В.С.** Современное состояние и перспективы  
развития компьютерных методов моделирования осветительных  
установок 18
- Голубин С.А., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Комаров В.М.,  
Семёнов Э.И.** Исследование характеристик оптического министика  
с VCSEL-лазером 24
- Сибриков А.В., Киричок А.И.** Применение светодиодов для освещения  
г. Москвы. Проблемы эксплуатации 28
- Цай Х., Сайфан М.И.** О возможности применения изображений  
с расширенным динамическим диапазоном для анализа  
проектов освещения 32
- Росато А., Скорпио М., Сибилио С., Чампи Дж.** Установка  
для измерения фотометрических характеристик ряда  
светильников со светодиодами 43
- Ерсой Йылмаз А.** Нейросетевое моделирование зависимости  
цветовой температуры освещения от источника света  
и оптической системы светильника 49
- Дюринк Г., Лелуп Ф.Б., Оденаер Я., Ханселаер П.** Моделирование  
спектра излучения светильника с дихроичным светофильтром  
при помощи метода спектральной трассировки лучей 55
- Гавриленков В.А.** Исследование и разработка моделей светящихся  
тел светодиодов серии «КИПД140А» 62

# 1 • 2017

## ЯНВАРЬ • ФЕВРАЛЬ

# СВЕТО ТЕХНИКА



### РАБОТА ОТРАСЛЕВОГО НТС

**Снетков В.Ю.** Научно-технический совет отрасли

66

### ХРОНИКА

**Варфоломеев Л.П.** Об экспонентах и экспонатах 22-й Международной светотехнической выставки в Москве

67

**Шелатуркина Л.В.** Заседание редколлегии журнала «Светотехника»

74

**Поздравляем С.М. Лебедекову**

75

### СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Пашковский Р.И.** Нормативные требования, касающиеся освещения светодиодами

76

**Международные конференции и выставки в 2017 году (I полугодие)**

79

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Освещение гипермаркета** светильниками со светодиодными модулями *Vossloh-Schwabe*

1

**«Interlight Moscow powered by light+building»** (анонс)

2 с. обл.

**Светильник** со светодиодами *GALAD* Юниор

3 с. обл.

**Модули Vossloh-Schwabe** со светодиодами для освещения в сфере торговли

4 с. обл.

**На 1 с. обл.:** моделирование классического теста компьютерной графики «Cornell Boxes» алгоритмом, описанным в статье В.П. Будака и В.С. Желтова «Современное состояние и перспективы развития компьютерных методов моделирования осветительных установок»

## Российские учёные предложили повесить в космосе «зеркало» для освещения Земли ночью

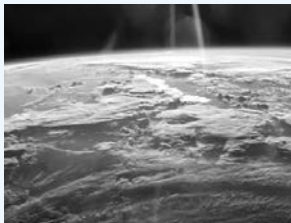
Орбитальную систему освещения земной поверхности солнечным светом предлагают реализовать специалисты Ракетно-космической корпорации «Энергия».

«Системы орбитального освещения земной поверхности могут увеличивать продолжительность светового дня и изменять спектр излучения. Они построены на основе космических аппаратов-спутников с отражателями, находящимися на околоземной орбите», – говорится в докладе специалистов корпорации, который был представлен на Академических чтениях по космонавтике.

Специалистами в докладе были рассмотрены проблемы эксплуатации таких спутников, безопасность их функционирования, спектр излучения, отражённого от разных металлических плёнок, которыми предлагается покрывать «зеркало» космического аппарата.

Учитывая, что искусственное освещение в ночное время может нарушать биологические реакции у многих живых организмов, в том числе у людей, сотрудники РКК «Энергия» предлагают при освещении Земли понижать уровень отражённых УФ и синей спектральных составляющих.

<http://tass.ru>  
27.01.2017



## Управление освещением играет ключевую роль в секторе интеллектуальных зданий

Освещение очень важно для пользования зданиями. На него расходуется порядка 40 % от потребляемой в здании энергии. Универсальность освещения делает его идеальной основой для реализации Интернета вещей (ИВ) в зданиях (ИНВЗ). Сейчас мы входим в новый год развития интеллектуальных зданий (ИЗ), и все эти обстоятельства подчёркивают важность освещения для дальнейшего совершенствования ИЗ.

Последняя революция в области освещения началась со стимулирования замены ламп накаливания на светодиоды (СД). Появление ИНВ и ИЗ привело к повышению значимости управления освещением – дела, в настоящее время жизненно важного для реализации возможностей освещения в части обеспечения удобства пользования зданиями, энергосбережения и связи.

По мере того, как СД становятся в зданиях источником света номер один, освещение претерпевает быструю трансформацию. Это один из наиболее важных стимулов для расширения управления освещением с шинной организацией и его слияния с информационными технологиями с последующим формированием ИНВЗ.

Уже далеко в прошлом то время, когда системы управления освещением состояли из релейных панелей с низковольтными переключателями в сочетании или без сочетания с теми или иными таймерами. ИНВЗ предъявляет к системе управления гораздо более жёсткие требования, позволяющие реализовать его многочисленные возможности по экономии затрат и получению прибыли.

*Современная система управления освещением должна быть:*

– *интеллектуальной.* Она должна сама принимать решения, позволяющие реализовывать совокупность предустановленных реакций на разные входные данные (такие как наличие людей в помещении, время, их личные расписания, погода) или их совокупность;

– *адресуемой.* Может требоваться, чтобы каждая лампа работала по своему и все лампы постоянно меняли свои световые потоки в соответствии с результатами обработки индивидуальных и общих данных;

– *централизованной.* Независимо от метода реализации – через облако или через локальный центральный сервер, – средства управления освещением должны подключаться к центральной базе данных, которая со-

бирает нужную информацию как внутри, так и снаружи здания. Кроме того, должна иметься возможность управления освещением из нескольких местных или удалённых точек через централизованную интерфейсную систему;

– *коммуникативной.* Не только оператор должен иметь возможность указывать освещению, что ему делать, но и освещение должно мочь «говорить» об этом оператору. Данные об энергоэффективности решающе значимы для обеспечения оператора возможностью оптимизации энергопотребления, и современная система управления освещением может «сказать» оператору, где и когда она нуждается в техническом обслуживании.

При наличии этих четырёх качеств современная система управления освещением имеет возможность идеально удовлетворять потребности пользователей, будь то производительность труда работников, здоровье находящихся в здании людей или целый ряд других факторов. Тем самым она увеличивает ценность недвижимости и обеспечивает быструю окупаемость капиталовложений для владельцев зданий, особенно если принимать во внимание значительную экономию энергии. Помимо того, современная система управления освещением вписывается в инфраструктуру ИНВЗ. Любому источнику света, приспособлению, кондиционеру, компьютеру или человеку будет соответствовать один или несколько датчиков, и всепроникающая система освещения может выступать в роли основы для объединения таких самых разных «вещей». Большая часть базирующихся в зданиях систем ИНВ к 2020 г. будет скомпонована на основе осветительных установок.

Один из многих игроков на мировом рынке управления освещением и зданиями, который надеется занять господствующее положение в секторе ИЗ, – светотехническая компания *Zumtobel Group*.

[www.memoori.com](http://www.memoori.com)  
03.01.2017

## Инженеры создают светодиоды будущего

Инженеры из Принстонского университета (США) придумали, как создать более эффективные светодиоды (СД), чем существующие, а также снизить их стоимость и повысить прочность.

Для этой цели они использовали минерал перовскит ( $\text{CaTiO}_3$ ), тогда как обычно в СД белого света используется нитрид галлия ( $\text{GaN}$ ). Перовскит может быть сверхпроводником или полупроводником в зависимости от структуры – это свойство делает минерал перспективным материалом для использования в электрических устройствах. Последнее время перовскит рассматривается даже в качестве потенциальной замены кремния в солнечных батареях, поскольку такие батареи будут дешевле в производстве, а по эффективности не уступят кремниевым.

Однако при изготовлении перовскитной плёнки возникают трудности. При растворении соединений-предшественников перовскита в растворе, содержащем галогениды металлов и галогенид аммония, образуется плёнка из кристаллов. Эти кристаллы получаются слишком крупными, что делает плёнку неустойчивой и снижает квантовый выход СД.

Американские инженеры добавили в раствор органический галогенид аммония. Длинная углеводородная цепочка этого соединения позволяет ограничивать образование крупных кристаллов. В результате удалось получить более мелкокристаллическую плёнку (с кристаллами размером 5–10 нм). Это повысило стабильность плёнки и привело к повышению энергоэффективности СД.

По словам учёных, такие СД, на основе нано-кристаллических тонких плёнок из перовскита, являются СД нового поколения: они более долговечны, энергоэффективны и дешёвы. Исследователи надеются, что скоро такие СД будут использоваться вместо обычных в экранах смартфонов и ноутбуков, в уличном и бытовом освещении.

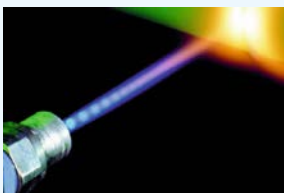
Результаты исследования опубликованы в журнале «*Nature Photonics*»,  
[www.nanonewsnet.ru](http://www.nanonewsnet.ru)  
17.01.2017



Минерал перовскит

## Самый яркий в мире лазер на свободных электронах

Близ г. Далайн, на северо-востоке КНР, совсем скоро завершится строительство научного комплекса, на базе которого начнет функционировать самый яркий в мире УФ лазер на свободных электронах (ЛСЭ). Новейший лазер способен вырабатывать порядка  $1,4 \cdot 10^{14}$  фотонов за один импульс длительностью менее  $1 \cdot 10^{-12}$  с.



Строительством сооружения занимаются специалисты Института физической химии в Далайе и Шанхайского института прикладной физики вместе с Китайской Академией наук. Затраты на создание лазера составляют около \$20 млн. Как утверждает один из руководителей проекта: «... Высокоскоростные источники УФ излучения позволяют нам проводить исследования на уровне отдельных атомов, молекул и наноразмерных частиц различных материалов. Чем выше яркость импульса, тем четче мы можем видеть явления микроскопического масштаба. А так как множество физических и биологических процессов, химических реакций происходят в фемтосекундном (порядка  $10^{-15}$  с) масштабе времени, нам требуется очень быстродействующий «фонарь».

Стоит отметить, что лазер будет использоваться в исследовании процессов горения, что позволит улучшить эффективность сжигания топлива и уменьшить количество выбросов вредных веществ в окружающую среду, а также в исследовании новых материалов, которые станут основой полупроводниковых чипов следующих поколений. Строительство нового лазера – первый этап программы по созданию целой серии лазеров на свободных электронах следующего поколения.

<https://hi-news.ru>  
18.01.2017

## Межлабораторные сличительные испытания IC 2017

Международное энергетическое агентство (МЭА) анонсировало межлабораторные сличительные испытания IC2017. Предыдущие сличительные испытания IC2013 прошли в 2013–2014 году, из российских организаций в них принял участие лишь Испытательный центр ВНИСИ. В этом году к участию в сличениях IC2017 также, как и в 2013 г., без ограничений приглашаются светотехнические измерительные лаборатории со всего мира, использующие гониофотометры для измерения параметров осветительных приборов на основе светодиодов. IC2017 рассмотрит результаты измерений, выполненных с помощью различных типов гониофотометра (например, ближнего и дальнего поля), а также исследует вариативность измерений и компетентность участников в проведении таких измерений. Участие в сличениях платное, и стоит порядка 5000 евро.

Основной задачей сличений IC2017 является проверка соответствия методов измерений, проводимых различными испытательными лабораториями, стандарту ISO/IEC17043. Измерения в рамках IC2017 будут проводиться по методике CIE S025 / E: 2015, а сличения результатов участников будет во многом аналогично методике предыдущих сличений IC2013. С отчетом о результатах предыдущих сличений можно ознакомиться (на англ.) на сайте МЭА, на русском языке отчет о результатах сличений IC2013 и опыт участия в них ИЦ ВНИСИ опубликован в журнале «Светотехника» (№ 5 за 2015 г.) и на сайте ВНИСИ.

Участвующим в сличениях лабораториям будет предложено провести измерения 14 светотехнических и электрических величин (световой поток, кривая силы света в различных плоскостях, световая отдача, электрические и спектроколориметрические параметры и пр.) четырех типов светодиодных осветительных приборов с различным светораспределением (узконаправленная светодиодная лампа, два светильника для офисного освещения и «уличный» светильник для освещения автодорог), в том числе с использованием гониофотометра или гониоспектрорадиометра.

Начало межлабораторных сличительных испытаний IC2017 запланировано на июнь 2017 года. Более подробная информация размещена на

сайте светодиодного отделения МЭА. Участие в IC2017, несомненно, позволит участникам оценить свой уровень по отношению к ведущим мировым измерительным и метрологическим центрам, а отчеты о результатах участия в сличениях могут быть в дальнейшем представлены в органы по аккредитации в качестве подтверждения прохождения профессионального тестирования.

## В Татарстане активно внедряют освещение светодиодами

В 2015 г. в рамках реализации программы по модернизации уличного освещения в населенных пунктах Республики Татарстан было установлено почти 17000 уличных светильников со светодиодами (ССД) отечественного производителя ООО «ТД «ФЕРЕКС». Программа направлена на создание комфортных условий проживания населения посредством установки современных энергоэффективных светильников.



В 2016 г. российский светодиодный бренд выбрали для освещения развязки на автомобильной дороге «Сорочьи Горы – Шали». Был произведен монтаж 176 уличных ССД «ФЕРЕКС» мощностью 208 Вт. В результате модернизации повысился уровень освещения и снизились затраты на электроэнергию и обслуживание. В декабре 2016 г. завершился проект по установке новых светильников на трассе Усады-Боровое Матюшино. 23 км дороги теперь освещает 1000 ССД типа ДКУ 01–156–50–Ш мощностью по 156 Вт. Переход на освещение светодиодами позволил почти вдвое сократить энергопотребление и снизить расходы на эксплуатацию, поскольку новое оборудование не нуждается в обслуживании в течение как минимум 10 лет.

[www.svetozone.ru](http://www.svetozone.ru)  
17.01.2017

## Компания Philips Lighting разработала систему освещения для логистического центра гипермаркетов «Leroy Merlin»

Компания Philips Lighting разработала систему освещения для нового распределительного центра потребительских товаров крупной сети гипермаркетов «Leroy Merlin». Логистический центр площадью 100000 м<sup>2</sup> в индустриальном парке «Южные Врата» (в Подмоскowie) является не только крупнейшим в своем классе, но и одним из наиболее экологических и энергоэффективных зданий в России. Инновационная светодиодная система Philips Lighting позволит экономить более 50 % энергозатрат на освещение по сравнению с традиционными решениями и около 30 % по сравнению с «обычными» светодиодными.



Компания полностью разработала как внутреннее, так и наружное освещение на объекте. Инновационные светодиодные решения внедрены в помещениях хранения и технических помещениях, офисах, а также по периметру здания. В проекте использованы светильники серий «Maxos LED», «Pacific LED», «RC165» и «BVP282». Решения соответствуют самым строгим требованиям по качеству света: отсутствие пульсаций, высокая цветопередача, равномерное освещение без пятен, минимальный слепящий эффект. При количестве световых точек 3820 общая подключенная мощность на освещение внутри помещений составила 305 кВт.

Одна из основных проблем современного складского освещения – то, что часто застройщики выбирают недорогие решения, которые не отличаются высоким качеством света. Новизна решений Philips заключается в одновременном использовании преимуществ высокомоощных точечных и линейных светильников, большая площадь светящейся поверхности которых обеспечивает минимальный слепящий эффект.

[www.svetozone.ru](http://www.svetozone.ru)  
16.01.2017

## Сложный период в деятельности журнала

Необычные условия работы в ушедшем году были связаны в основном с болезнью Ю.Б. Айзенберга, нахождением его в больнице, с последующим пребыванием в реабилитационном санатории. В этот период (около трёх месяцев) в качестве главного редактора журнала и его генерального директора действовал подготавливаемый на протяжении предыдущего, 2015, года потенциальный преемник (см. № 1 журнала за 2016 год). К сожалению, этот эксперимент окончился неудачей, и А.С. Шаракшанэ был вынужден уволиться из состава редакции по обоюдному согласию сторон.

Благодаря большой проведённой работе были отобраны, приглашены в редакцию и начали работать и.о. главного редактора журнала доктор техн. наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой «Светотехника» НИУ «МЭИ» Владимир Павлович Будаков – известный учёный среди специалистов в России и за рубежом, и генеральным директором ООО «Редакция журнала «Светотехника» – специалист с большим опытом управленческой и организаторской деятельности, в частности, в области образования, информации и коммуникаций – кандидат пед. наук, заслуженный учитель РФ Наталия Сергеевна Шерри.

Все номера журналов «Светотехника» и «*Light & Engineering*» в 2016 году выходили в срок и были наполнены серьёзными научно-техническими публикациями. Всего в основном разделе журнала за 2016 год опубликовано 69 научно-технических статей из России и зарубежных стран, в том числе по наиболее актуальной тематике – исследо-

вание, разработка и применение светодиодов (10 статей). Необходимо особо отметить два знаковых события минувшего года: редакцией были подготовлены и выпущены специализированный номер журнала «Светотехника», посвящённый 25-летию юбилею одного из ведущих светотехнических объединений России холдинга *BL Group* («БЛ ГРУПП») и номер (№3) журнала «*Light & Engineering*» (впервые в удвоенном объёме) с 40 статьями ведущих китайских специалистов в области применения светодиодов и солнечной энергетики для освещения.

Важно подчеркнуть, что за последние годы существенно укрепилась связь журнала с четырьмя центрами развития светотехнической науки в Финляндии, КНР, Индии и Турции (в основном с университетами этих стран). В таблице представлена информация о поступлении в журналы «Светотехника» и «*Light & Engineering*» статей из этих центров. Важным фактором получения этих статей явилось то, что наши журналы активно и систематически сотрудничают с такими широко известными агентствами как «*Web of Science*» и «*Scopus*». Следует отметить, что новое руководство журнала в минувшем году подготовило и заказало наиболее крупным специалистам в различных направлениях науки и техники перечень обзорных статей о состоянии и тенденциях развития соответствующих направлений, четыре из которых уже опубликованы: две в № 6 за 2016 год («Итоги и перспективы развития светового дизайна в городах России» – Н.И. Щепетков, «Современное состояние и перспективные направления

исследований в области освещения зданий и сооружений в архитектурно-строительных вузах и НИИ» – А.К. Соловьёв) и две в № 1 за 2017 год («Современное состояние и перспективы развития компьютерных методов моделирования осветительных установок» – В.П. Будаков, В.С. Желтов, «Современное состояние, тенденции и перспективы развития светодиодов для освещения» – С.И. Лишик, В.С. Поседако, Ю.В. Трофимов, В.И. Цвирко), а остальные девять будут публиковаться в последующий период 2017 года:

1. Светотехническое оборудование пилотируемых космических аппаратов;
  2. Современное состояние и перспективы развития пуско-регулирующих и управляющих устройств для разрядных ламп и светодиодов;
  3. Человек и свет. Направления и задачи исследований;
  4. Современное состояние и перспективы развития фотометрии ламп, световых приборов и установок;
  5. Современное состояние освещения в текстильной промышленности;
  6. Современное состояние и перспективы развития осветительных и облучательных установок в сельском хозяйстве;
  7. Освоение мирового океана и свет;
  8. Современное состояние и перспективы развития освещения улиц и дорог;
  9. Современное состояние и перспективы развития систем автоматического управления освещением.
- Учитывая сложившуюся ситуацию в светотехнической отрасли, руководство журнала и редколлегия считают, что в отсутствие организации, подобной Минэлектротехпрому СССР, и интереса к разным направлениям све-



## Статьи за 2010 по 2016 (четыре номера) годы в журнале «Светотехника»

Финляндия (10)	Индия (8)	Турция (16)	Китай (53)
№ 2-2010 г., стр.43-49	№ 1-2010 г., стр. 32-37	№ 3-2010 г., стр. 51-56	№ 3-2010 г., стр. 29-31
№ 3-2011 г., стр. 64-66	№ 6-2010 г., стр. 40-46	№ 4-2010 г., стр. 16-22	№ 4-2010 г., стр. 30-34
№ 5-2012 г., стр. 40-44	№ 3-2011 г., стр. 58-63	№ 2-2011 г., стр. 53-59	№ 2-2011 г., стр. 44-52
№ 5-2012 г., стр. 51-59	№ 5-2012 г., стр. 65-75	№ 1-2013 г., стр. 41-50	№ 2-2011 г., стр. 60-64
№ 1-2013 г., стр. 18-22	№ 1-2016 г., стр. 31-34	№ 3-2014 г., стр. 18-23	№ 3-2011 г., стр. 37-40
№ 5-2014 г., стр. 65-70	№ 2-2016 г., стр. 29-32	№ 4-2014 г., стр. 28-32	№ 2-2013 г., стр. 17-19
№ 3-2015 г., стр. 37-41	№ 2-2016 г., стр.52-56	№ 4-2014 г., стр. 64-69	№ 2-2013 г., стр. 41-44
№ 4-2015 г., стр. 53-58	№ 4-2016 г., стр. 59-67	№ 6-2014 г., стр. 32-38	№ 3-2013 г., стр. 33-37
№ 2-2016 г., стр. 7-13		№ 1-2015 г., стр. 28-35	№ 3-2013 г., стр. 43-47
№ 4-2016 г., стр. 33-40		№ 1-2015 г., стр. 43-49	№ 4-2013 г., стр. 33-37
		№ 2-2015 г., стр. 30-38	№ 4-2013 г., стр. 42-46
		№ 4-2015 г., стр. 35-40	№ 6-2014 г., стр. 20-26
		№ 4-2015 г., стр. 59-63	№ 1-2015 г., стр. 23-27
		№ 1-2016 г., стр. 8-14	40 статей в № 4-2016 «L+E»
		№ 3-2016 г., стр. 22-29	
		№ 4-2016 г., стр. 44-52	

тотехнической науки и техники со стороны Минэнерго РФ, ОАО «Роснано» и других государственных организаций резко повышаются роль, задачи и обязанности журнала «Светотехника» как, возможно, единственного органа, способного осуществлять идейное руководство в столь важных и разнообразных направлениях светотехники, как исследование и разработка рекомендаций в областях: зрительного и незрительного воздействия на человека; фотобиологии и фотохимии; совершенствования и расчёта осветительных и облучательных установок для разных отраслей промышленности и хозяйства, а также для быта; конструирования и технологии производства светотехнических изделий (источников света, световых и облучательных приборов, пускорегулирующей аппаратуры); систем управления освещением; световой сигнализации; совершенствования методов и способов монтажа осветительных и облучательных установок.

Редколлегия журнала, включающая девять докторов наук и выдающихся управленцев, считает необходимым повседневно на страницах журнала предлагать и обсуждать основные шаги по развитию важнейших областей и направлений светотехники.

В частности, в этом плане мы ведём подготовку к организации совместно с зарубежными коллегами крупной международной светотехнической конференции по проблеме расширения области применения светодиодов на транспортных средствах стран (автомобилях, поездах, самолётах и судах).

Мы предполагаем также, что необходимо дальнейшее расширение связей с ведущими специалистами и фирмами зарубежных стран, имеющими важный передовой опыт работы. Считаем также интересным и целесообразным (по идеологическим и финансовым соображениям) развитие полученного опыта по изданию тематических выпусков наших журналов в дополнение

к обычным очередным номерам. Для поддержания и расширения подписки на журналы мы планируем направлять все номера журналов с проблемными обзорными статьями широкому кругу работающих над этими проблемами фирм и специалистов. На последней выставке «*Interlight Moscow powered by light + building*» были распространены 3 тыс. экземпляров № 5 журнала «Светотехника», содержащего анализ и синтез опыта работы холдинга *BL Group* («БЛ ГРУПП»).

Приглашаем все заинтересованные фирмы и всех специалистов, болеющих за судьбу развития светотехнической науки, техники и практики, к совместной работе с журналом.

С Новым годом, дорогие коллеги, и началом нового этапа развития нашего журнала!

**Ю.Б. Айзенберг и В.П. Будак,**  
доктора техн. наук, профессора,  
ООО «Редакция журнала  
«Светотехника»

# НОВЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ ЖУРНАЛА

## Будак Владимир Павлович

Главный редактор журнала «Светотехника»

В.П. Будак окончил с отличием в 1981 г. Московский орден Ленина энергетический институт (МЭИ) по специальности «Оптико-электронные приборы». В 1985 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Метод расчёта переноса оптического изображения в мутных средах с анизотропным рассеянием», а в 1998 г. докторскую диссертацию на тему «Малоголовая теория диффузного светового поля в мутных средах». В 2001 г. ему присвоено учёное звание профессора.



В.П. Будак ведёт все виды учебной работы на кафедре «Светотехника» НИУ «МЭИ». Им созданы новые курсы: «Математическое моделирование ОЭС», «Теория переноса излучения», «Компьютерная графика в светотехнике», «Компьютерные технологии в научных исследованиях» и «Математическое моделирование осветительных установок».

Он активно участвует в научно-исследовательских работах кафедры, по результатам которых им опубликовано свыше 300 статей и подготовлено более 200 выступлений на конференциях различного уровня. Из них в базе данных «Scopus» – 62 работы (26 за последние 5 лет), общее число цитирований – 175 и *h*-индекс – 7. Под руководством В.П. Будака 14 соискателей и аспирантов (5 за последние 5 лет) защитили кандидатские диссертации.

На всех конференциях в России по оптике рассеивающих сред за последние 10 лет В.П. Будак неизменно являлся одним из руководителей секции по теории переноса. Он – член диссертационного совета при НИУ «МЭИ», с 2004 г. входит в состав редколлегии журнала «Светотехника», более 10 лет был заместителем заведующего кафедрой «Светотехника» по науке и в 2015 г. избран членом-корреспондентом Академии электротехнических наук РФ.

## Шерри Наталия Сергеевна

Генеральный директор ООО «Редакция журнала «Светотехника»

Н.С. Шерри окончила в 1985 г. Московский орден Ленина и ордена Трудового Красного Знамени государственный педагогический институт (МГПИ) по специальности «Русский язык и литература», квалификация – «Учитель русского языка и литературы». В 2003 г. защитила диссертацию на соискание учёной степени кандидата педагогических наук. Имеет звания «Заслуженный учитель РФ» и «Отличник народного просвещения». Прошла практически все ступени системы просвещения от учителя в школе до Министра образования Калининградской области и заместителя руководителя Департамента образования города Москвы. В настоящий момент является руководителем департамента внешних коммуникаций и связей с общественностью ООО УК «БЛ ГРУПП». Основные направления работы Н.С. Шерри в последние годы связаны с разработкой и внедрением законов в сфере образования на федеральном уровне, направленных на обеспечение реализации приоритетного национального проекта «Образование».



Опыт модернизации системы образования Калининградской области и создания эффективных механизмов управления неоднократно был представлен на всех уровнях законодательной и исполнительной власти РФ, семинарах, конференциях, совещаниях, организованных Минобрнауки РФ и Государственной Думой Федерального Собрания РФ, и признан успешным среди субъектов РФ. Система образования Калининградской области, возглавляемая Н.С. Шерри, была одним из лидеров российского образования, становилась победителем конкурсных отборов в рамках национального проекта «Образование».

Кроме того, Н.С. Шерри являлась доверенным лицом кандидата на должность мэра города Москвы Ю.М. Лужкова (дважды), а в 2004 году – кандидата на должность Президента РФ В.В. Путина.

За свою деятельность Н.С. Шерри награждена Орденом Дружбы.

# Современное состояние, тенденции и перспективы развития светодиодов для освещения

С.И. ЛИШИК<sup>1</sup>, В.С. ПОСЕДЬКО<sup>1</sup>, Ю.В. ТРОФИМОВ<sup>1</sup>, В.И. ЦВИРКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», Минск

<sup>2</sup> Испытательная лаборатория ГП «ЦСОТ НАН Беларуси», Минск

E-mail: sergey.lishik@gmail.com, nioledcenter@gmail.com, trofimo119@gmail.com, vitalii.tsvirko@gmail.com

## Аннотация

Рассмотрено современное состояние исследований и разработок в области светодиодной элементной базы, светодиодных ламп прямой замены, уличных и промышленных светильников со светодиодами, облучательных устройств со светодиодами для тепличного растениеводства и др. Приведены примеры перспективных направлений внедрения светотехнических средств со светодиодами примеры перспективных направлений внедрения светотехнических средств со светодиодами светодиодной техники, таких как медицинская техника, УФ обеззараживание и мобильная техника. Сделаны выводы и прогнозы по дальнейшему развитию осветительного и облучательного оборудования со светодиодами.

**Ключевые слова:** светодиодная элементная база, энергоэффективность, светильники со светодиодами, светодиодные лампы прямой замены, светотехнические характеристики, тепличное растениеводство, перспективные направления.

К настоящему времени в мире накоплено большое количество статей, обзоров и монографий по тематике данной статьи, что существенно затрудняло выполнение поставленной задачи — выдать читателю достаточно новую и полезную информацию. В итоге авторы решили построить статью на базе данных, главным образом, собственных исследований и разработок. При этом материала накопилось предостаточно, так как начало наших исследований по светодиодной тематике датируется 1977 г. [1, 2].

Наш анализ современного уровня развития оборудования со светодиодами (СД) основан на результатах испытаний, выполненных в аккредитованной Испытательной

лаборатории ГП «ЦСОТ НАН Беларуси» (ИЛ), которая была создана в 2010 г. и аккредитована на ISO 17025 в 2012 г. (аттестат аккредитации № ВУ/11202.1.0.1714 от 13.08.2012). ИЛ укомплектована современным испытательным оборудованием и средствами измерений, опытным и обученным персоналом и специализируется на измерении светотехнических и теплофизических характеристик СД и изделий с СД: светильников, ламп, модулей, дисплеев, устройств заднего освещения, светосигнального оборудования, светофоров и индикаторов.

Объём работ, выполняемых ИЛ, постоянно растёт. Так, в 2015 г. протестировано около 300 светильников и 100 ламп, а за январь—ноябрь 2016 г. — 280 светильников и 80 ламп.

Значительная часть этих испытаний проводилась по заказу журнала «Lumen&ExpertUnion». Результаты этих испытаний находятся в открытом доступе на сайте журнала в рубрике «Проверено» [3] и использовались в проведении конкурса на Евразийскую светотехническую премию в 2015 г.

В 2016 г. в ИЛ по заказу журнала «Lumen&ExpertUnion» проводились также измерения теплофизических характеристик СП и ламп с помощью телевизионной камеры «Flir A325». С результатами испытаний можно ознакомиться на той же интернет-странице.

Учитывая, что в ряде случаев заказчики просят нас оценить и проанализировать технический и технологический уровни разработки и производства изделий с СД, у нас накопилась информация как по отдельным конструктивным узлам и технологическим операциям, так и по изделиям в целом.

Остановимся на некоторых моментах развития элементной базы. Известно, что световая отдача ( $\eta_v$ ) СД в основном определяет и  $\eta_v$  светильника с СД в целом.

На рис. 1 представлен прогноз динамики роста  $\eta_v$  СД по данным [4] и соответствующая реальная картина [5, 6].

Следует также отметить, что приведённые данные по  $\eta_v$  в статьях и рекламных материалах до 2012 года соответствуют пониженным рабочим токам (1/3 номинального) и рабочей температуре (25 °С). В настоящее время для полного удовлетворения потребителей  $\eta_v$  СД, как правило, соответствует рабочим токам и температуре 85 °С.

Из рассмотрения приведённых графических зависимостей видно, что реальный уровень  $\eta_v$  белого СД превзошёл прогнозный на 2016 г. на 70 лм/Вт (47 %). Попытаемся выяс-

Рис. 1. Световая отдача светодиодов  $\eta_v$  — прогноз и реальность

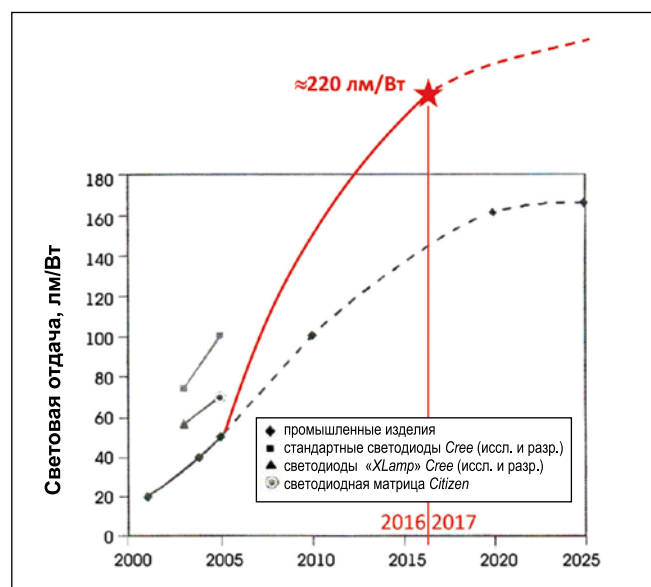


Рис. 2. Развитие технологии изготовления и корпусирования светодиодного кристалла

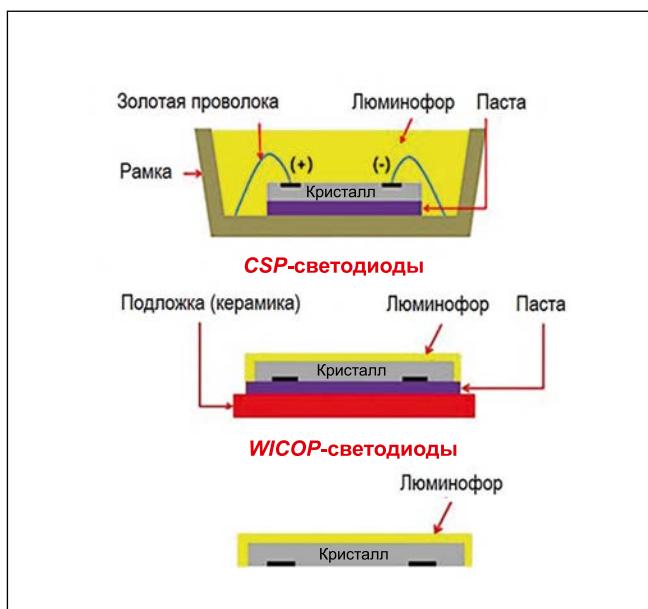
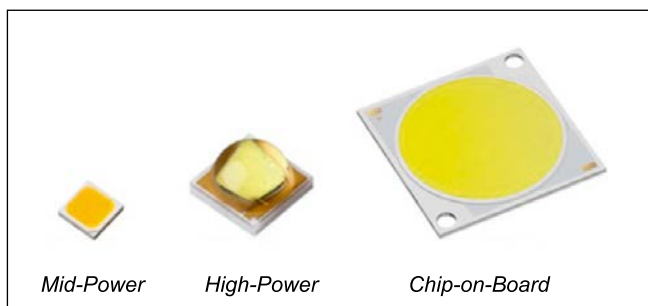


Рис. 3. Наиболее распространённые виды светодиодов



нить причину столь резкого роста этой  $\eta_r$ .

В начале 2000-х на мировом рынке сверхъярких белых СД общим объёмом в \$1,2 млрд для изготовления таких изделий с СД, как табло, вывески и ЖК-панели с задним освещением, использовалось 56 % от общего количества таких СД, причём востребованность их постоянно росла (доля сегмента общего освещения составляла всего 4 %) [7, 8]. Эта ситуация стала катализатором быстрого развития белых СД, служивших основной элементной базой для создания устройств заднего освещения. Задачи повышения энергоэффективности бытовой техники, качества изображения ЖК-телевизионных панелей и компьютерных мониторов решались, главным образом, путём повышения качества СД. Эти процессы продолжают и теперь.

Параллельно повышались требования к конструктивному исполнению СД и технологичности их использования при сборке ЖК-панелей. На рис. 2 показаны этапы развития SMD-СД: традиционные, CSP- и WICOP-/WICOP2-СД [9].

WICOP- и WICOP2-СД имеют следующие преимущества: минимизация размеров соответствующих светотехнических устройств (снижение их материалоёмкости и миниатюризация); улучшенный теплоотвод (уменьшение скорости деградации, повышение надёжности). А их недостатки — высокие требования к сборочному оборудованию (вакуумный манипулятор, точность позиционирования), а также к выбору материалов печатных плат и их плоскостности, приданию им отражающих свойств и подбору материалов с близкими значениями коэффициентов термического расширения. Не решены также все проблемы по герметичности (влаго- и газопроницаемости) таких СД, и по этой причине их можно отнести к СД «домашнего использования» (например, внутри корпуса ЖК-телевизоров), хотя попытки использования их в уличных светильниках уже начались.

Проведём далее оценку экономической и практической целесообразности выбора того или иного типа СД при создании уличного светильника. Возьмём наиболее распространённые типы СД, используемые для ре-

шения этой задачи и представленные на рис. 3, а также данные о том, сколько килолюменов светового потока можно приобрести за \$1 (кЛм/\$) при следующих параметрах СД: коррелированная цветовая температура  $T_{кц} = 5000 \text{ K}$ , общий индекс цветопередачи  $R_a \geq 80$  и  $\eta_r \geq 135 \text{ лм/Вт}$  при рабочей температуре  $+85 \text{ }^\circ\text{C}$ .

По нашим сведениям, при использовании СД *Mid-Power* (с корпусом 3030, мощностью порядка 1 Вт и стоимостью около \$0,06<sup>1</sup>) при закупке их партий объёмом до 500 000 шт. на \$1 можно получить 2,25 кЛм светового потока. А при использовании СД *High-Power* (с корпусом 3535, мощностью порядка 2,1 Вт и стоимостью около \$0,45) при закупке их партий объёмом до 100 000 шт. или СД матриц *Chip-on-Board (COB)* (мощностью порядка 90 Вт и стоимостью около \$19) при закупке их партий объёмом до 200 шт. на \$1 можно получить 0,6 кЛм светового потока.

Известно, что тепловые свойства СД модуля определяют деградацию световых характеристик и надёжности светильника с СД в целом. При этом уровни суммарного теплового сопротивления массива СД, обеспечивающего световой поток в 12 кЛм (характерный для наиболее применяемых уличных светильников с СД), для СД *Mid-Power* и *High-Power* и для СД матриц *Chip-on-Board (COB)*, соответственно, равны 0,087, 0,095 и 0,14 К/Вт.

Анализируя вышеприведённые результаты, можно предположить, что по ценовому фактору и надёжности в ближайшие несколько лет мало мощные СД *Mid-Power* будут доминировать на рынке потребления СД элементной базы для создания уличных светильников с СД.

Далее рассмотрим состояние разработки и внедрения уличных и промышленных светильников с учётом результатов измерений их образцов в ИЛ ГП «ЦСОТ НАН Беларуси». В течение 2015 г. на исследовательские испытания были представлены 21 уличный светильник и 55 промышленных светильников с СД, а в 2016 г. — 40 и 46 шт. соответственно. Все исследованные образцы

<sup>1</sup> Цены приведены ориентировочно для СД ведущих брендов, доступных на рынке Таможенного союза, по состоянию на III кв. 2016 г.

являлись последними разработками известных компаний, присутствующими на рынке Таможенного союза.

На рис. 4 представлена совокупность значений  $\eta_v$  и светового потока исследованных образцов и их средневзвешенное значение.

Отметим, что лучшие результаты по  $\eta_v$  уличных светильников с СД, лежащие вблизи 145 лм/Вт, и усреднённые значения  $\eta_v$  за 2015 и 2016 гг. не изменились, но усреднённые значения  $\eta_v$  промышленных светильников с СД существенно возросли – с 90 до 114 лм/Вт.

Данная ситуация объяснима следующим образом. В 2015 г. в тендерных заданиях на закупку оборудования с СД жёстко закрепилось как минимум 5-летнее значение гарантийного срока. Кроме того резко увеличилось количество светильников, не соответствовавших требованиям к гарантийному сроку (не менее 3 лет), главным образом, из-за отказов устройств управления («драйверов») и отсутствия должной герметичности светооптических частей. Острота проблемы такова, что многие компании близки к банкротству.

Приходится констатировать, что в настоящее время основные проблемы деградации СД и СД-модулей вызываются не только электрическими и тепловыми явлениями, но и химическими и электрохимическими процессами, связанными с взаимодействием компонентов оборудования с СД, находящегося в атмосферных условиях города и дорожной сети, с соответствующими агрессивными газами ( $HCl$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$  и др.), влагой и солевыми парами и растворами.

В то же время открылась ниша промышленных светильников, эксплуатируемых в помещениях, что существенно снижает требования к герметичности этих приборов из-за отсутствия агрессивных факторов окружающей среды.

На основании анализа полученных данных мы предполагаем, что целевые показатели развития уличных светильников с СД, например, мощностью 100 Вт к 2020 г. достигнут следующих значений: усреднённое значение световой отдачи – 180 лм/Вт, масса – не более 5 кг, гарантийный срок эксплуатации – 8 лет. Кроме того, светильники должны обладать следующим набором возможностей: смарт-функции (дистанционное и ав-

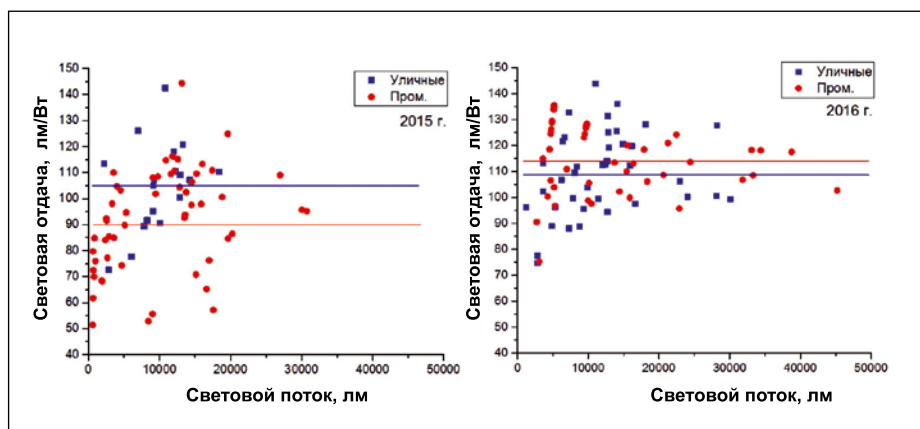


Рис. 4. Значения световой отдачи и светового потока исследованных образцов светильников со светодиодами



Рис. 5. В национальном парке «Цианьшоан», г. Цзинань, Китай



Рис. 6. Основные компоненты светодиодной лампы прямой замены

томатическое управление), терморегулирование, самоочищающаяся поверхность корпуса.

Рассмотрим теперь ситуацию, сложившуюся с СД лампами прямой замены (ЛПЗ). В национальном парке «Цианьшоан» в Китае торгуют

СД ЛПЗ, которые лежат на «прилавках» россыпью без упаковки и этикеток, а транспортируются и хранятся в мешках (рис. 5). Судя по картонным ценникам, это лампы мощностью от 3 до 12 Вт, причём стоимость 12-ваттной лампочки – около \$0,30.

			
<b>Лампа накаливания</b>	<b>Компактная люминесцентная лампа</b>	<b>Светодиодная лампа прямой замены</b>	<b>Светодиодная нитевидная лампа</b>
60 Вт	14 Вт	12,5 Вт	12,5 Вт
800 лм	800 лм	800 лм	800 лм
1 200 ч	10 000 ч	25 000 ч	?

Рис. 7. Ламповые источники света



Рис. 8. Исследованные образцы нитевидных ламп

О чём это говорит и чего надо бояться? При определённых условиях такая продукция может появляться прилично упакованной под любым брендом на наших прилавках. Это — некое «дно». К счастью, в Китае присутствует и совершенно другая по качеству продукция с СД.

Коснёмся подробнее состояния разработок СД ЛПЗ. В настоящее время сформировалось в основном два подхода, используемых в создании этой продукции:

- традиционный способ компоновки, когда по внешнему виду лампа близка к обычной ЛН, а основные компоненты расположены как бы слоями, что существенно облегчает автоматизацию сборочных процессов (рис. 6) [10, 11];

- 2) исполнение в виде аналога обычной ЛН путём замены вольфрамовых нитей на многоэлементные линейные излучатели (филаменты) [12].

Для анализа ситуации воспользуемся рейтинговой информацией по

10 лучшим представителям обычных СД ЛПЗ [13, 14] и управляемых смарт-ламп, представленной на сайте [15]. Информация на сайтах [13–15] актуальна с точки зрения техники и экономических показателей. Так, сайт [13] содержит более 2000 подробных протоколов исследований СД ЛПЗ, а на сайте [15] приводятся ценовые показатели СД ламп, продаваемых через торговую сеть *Amazon*, что позволяет оценить соотношение цена/качество представленных источников света. Отметим, что определённые преимущества в данной категории имеет, несмотря на высокую стоимость (\$159,9), продукция *Philips «Hue Connected Bulb»*, поставляемая в виде комплектов из 3-х управляемых СД ЛПЗ, дополнительно укомплектованных пультом управления.

Более подробно коснёмся подхода 2, т.е. светодиодных нитевидных ламп (иногда называемых «филаментными» от англ. *«filament»*). Приведём известные ламповые источники света к одному световому потоку в 800 лм (лампы с таким световым потоком чаще всего используются в быту). Как видим (рис. 7), представленные лампы существенно отличаются по потребляемой мощности и сроку службы. СД лампы разного вида одинаковы по энергоэффективности, но различны по сроку службы. При этом:

- Прототип нитевидной лампы был впервые создан в 2008 г. японской компанией *Ushio Lighting*. В 2011 г. лампа производства *Panasonic* завоевала премию «*Good Design Gold Award*» [16]. Массовое распространение эти лампы получили с 2012–2013 г., и с тех пор их рыночная доля постепенно растёт. Результаты испытаний нитевидных ламп по сравнению с контрольными лампами представлены в таблице.

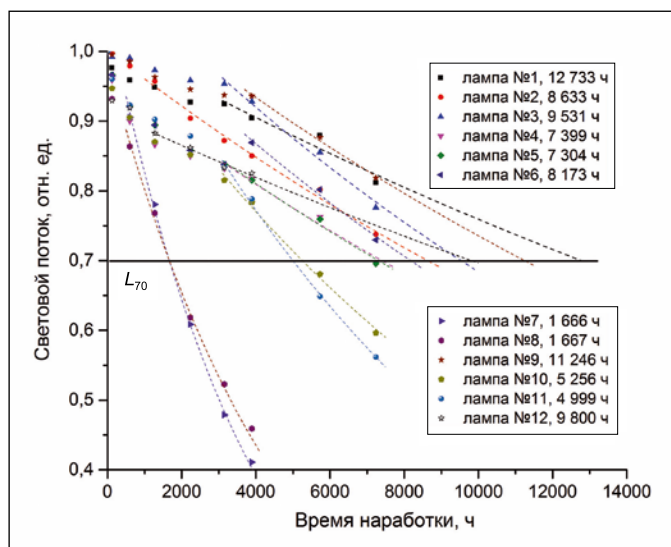
- Измеряемые образцы нитевидных ламп приобретались в розничной торговой сети Таможенного союза, и их внешний вид приведён на рис. 8.

- Заявленные производителем светотехнические характеристики светодиодных нитевидных ламп в большинстве случаев значительно отличаются от полученных в ходе измерений. В частности, измеренное значение потребляемой мощности оказалось в среднем на 15 %, а измеренное значение светового потока — на 18 % ниже заявленного значения. Подобные результаты одно-

начно свидетельствуют об ущемлении прав потребителей и требуют мер реагирования со стороны органов государственной власти.

Приведём также результаты испытаний ламп, согласно таблице, на динамику спада светового потока (рис. 9). При этом срок службы образцов ламп оценивался по методике IES TM-21-11 «*Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources*» – по уровню снижения светового потока до 70 % от первоначального. Для расчётов принимались данные последних 3000–4000 ч наработки, поскольку они дают наиболее достоверную оценку срока службы по данной методике. Общее время наработки большинства образцов составило 7239 ч. Для четырёх образцов ламп спад светового потока превысил 30 % за время наработки менее 6000 ч. Лампы №№ 7 и 8 были сняты с испытаний после 4000 ч, поскольку деградировали по световому потоку более чем на 50 %. Лампа № 12 вышла из строя после 5352 ч работы, поэтому оценка её срока службы, на наш взгляд, получилась завышенной, так как для расчёта брался более ранний период наработки. Значения срока службы испытанных образцов ламп также приведены на рис. 9, и, таким образом, срок службы нитевидных

Рис. 9. Временная зависимость светового потока и срок службы испытанных образцов ламп



ламп варьируется от 1680 до 12700 ч, при этом среднее значение по выборке испытанных образцов составляет около 7200 ч.

Следующая исследуемая характеристика – изменение  $T_{ки}$  во времени. Результаты испытаний показали существенное изменение этого параметра для некоторых образцов филаментных ламп – до 100 К и более. Подводя итог, можно отметить, что использование СД-филаментов и помещение их в стеклянную колбу без надлежащего решения проблем теплоотвода и виброустойчивости вы-

зывает серьёзные сомнения в успешном будущем этого направления. Такие же сомнения возникают при рассмотрении технологии производства этих ламп. Использование стеклянной колбы, установка филаментов в рабочие позиции, откачка, последующее заполнение специальной газовой смесью и запайка колбы с трудом поддаются автоматизации и требуют значительного времени в отличие от СД ЛПЗ «традиционной» конструкции.

Вышеуказанные проблемы потенциально могут быть решены при ор-

Таблица

Сравнение заявленных и измеренных значений основных характеристик исследованных образцов ламп

№	Тип изделия	Мощность			Световой поток		
		Заявленное значение, Вт	Измеренное значение, Вт	Отклонение, %	Заявленное значение, лм	Измеренное значение, лм	Отклонение, %
1	CLED-A60 5W/E27/2700K	5	5,2	4	800	819	2
2	PLED A60 OMNI 8W/E27/2700K	8	7,3	–9	720	741	3
3	LED Filament Lamp A60 6W/E27/warm light	6	5,9	–1	–	642	–
4	ASD LED-ШАР ПР 5Вт/E27/3000K	5	4,0	–20	450	350	–22
5	ASD LED-A60 ПР 6Вт/E27/3000K	6	4,5	–25	540	457	–15
6	ASD LED-A60 ПР 8Вт/E27/3000K	8	5,8	–27	720	582	–19
7	ASD LED-A60 ПР 10Вт/E27/3000K	10	7,4	–26	900	850	–6
8	Ambrella light LED6W/E27/2700K	6	2,6	–56	510	227	–56
9	Uniel Sky 7W/E27/3000K	7	5,0	–28	–	642	–
10	Feron LED7W/E27/2700K	7	5,9	–16	740	618	–16
11	Feron LED7W/E27/4000K	7	6,1	–13	760	695	–9
12	Feron LED5W/E27/4000K	5	3,8	–25	550	394	–28



Рис. 10. Лампа «Green Creative BR30 Cloud LED»



Рис. 11. Схематическое изображение процесса выращивания растений

ганизации и проведении комплекса научно-технических работ и требуют дополнительно времени.

В заключение этого раздела несколько слов о некоторых представителях СД ЛПЗ. В 2016 г. интенсивно развивающаяся китайская компания *Wellmax* представила СД ЛПЗ

с потребляемой мощностью 65 Вт со световым потоком 4500 лм, выполненную с корпусом из теплопроводной пластмассы с локальным нанесением алюминия [17]. Предполагается, что эта лампа послужит заменой 125-ваттной НЛВД. Лампа обладает пассивной системой охлаждения с каналами специальной формы для эффективного отвода тепла за счёт воздушной конвекции.

Второй представитель СД ЛПЗ, отличающийся новизной решения, — лампа «Green Creative BR30 Cloud LED» [18], в конструкции которой плата СД излучателя, помещённая в светозлучающий узел, отделена от части корпуса, в которой расположено УУ и цоколь, что существенно улучшает тепловые свойства изделия в целом (рис. 10).

Далее рассмотрим некоторые относительно новые перспективные направления развития оборудования

с СД. В этом ряду облучение растений в теплицах — «лакомый кусок финансового пирога» рынка облучательной техники. Приведённое схематическое изображение процесса выращивания растений (рис. 11) позволяет сделать некоторые выводы и обозначить проблемы. При этом растение — сложная многофакторная система, а свет — лишь один из множества факторов, влияющих на процессы выращивания растений. Разные растения и стадии их выращивания требуют разных интенсивностей и спектров излучения, а также регламентов выращивания. Добавляет неоднозначности в трактовке результатов существующая сортозависимость растений. Эксперименты по выбору технологических параметров освещения с помощью СД достаточно долговременны и экономически затратны. Требуется подтверждение результатов в разных географических условиях в теплицах разного конструктивного исполнения. Все компоненты и узлы облучателей с СД должны быть устойчивы к высоким влажности и температуре воздуха и ко всем видам химической обработки, характерным для тепличных хозяйств.

В последнее время, наряду с традиционными тепличными комплексами, заинтересованность в облучении (освещении) с помощью СД проявляется при создании так называемых фабрик растений [19], где применяются многоярусные стеллажи (14–18 уровней) и с использованием гидропонных систем выращиваются зеленные культуры (салат, базилик, петрушка и т.д.). Причём это направление вышло на крупносерийное производство, и есть информация [20], что таким способом только одной компанией *Spread* (Япония) выращивается и поставляется в торговую сеть (рестораны, пиццерии и т.д.) до 30000 головок салата в день.

Совершенно очевидно, есть и другое направление, которое появилось и начало бурно развиваться с создания установок, иногда называемых «пищевой компьютер» или «кухонный огород», для бытового использования и обеспечения семьи витаминной продукцией.

Для всех указанных направлений (рис. 12) необходимы высокие уровни световой отдачи и надёжности, а также получение специального спектра излучения.



Рис. 12. Направления использования тепличного облучения светодиодами: а — Минская овощная фабрика (2015 г.): тепличное облучение (ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»); б — многоярусные системы; в — устройство для домашнего использования (ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»)



Достаточно распространён маркетинговый ход, когда разработчик и производитель выпускают облучатели с СД с набором разных спектров излучения и разным световым потоком, тем самым перенося ответственность за положительный результат использования растениеводческого облучателя с СД на потребителя. Так, финская компания *Valoya* предлагает целую гамму облучателей разной мощности с разными спектрами (рис. 13) [21], сопровождаемая их общими рекомендациями: «для усиления генеративного развития», «для усиления вегетативного роста», «для исследовательских целей» и т.п. Аналогично и ведущая компания *Illumitex* (США) [22], кроме облучателей с СД с широким набором спектров, дополнительно предлагает облучатели с монохроматическим излучением на длинах волн 450, 525, 624, 660 и 730 нм (т.е. «инструментов» предлагается много, но необходимо уметь ими пользоваться).

Кратко остановимся на других перспективных областях применения СД-технологий. В последнее время СД оборудование получило серьёзный импульс к дальнейшему развитию в связи с повышением требований к качеству света СД, что позволило расширить сферы применения светильников с СД в таких областях, как освещение музеев, кино- и фотостудий, косметологических кабинетов. После изучения требований потребителей в ГП «ЦСОТ НАН Беларуси» был создан экспериментальный образец светильника для фотостудии (рис. 14), подтверждающий вышесказанное. По светотехническим характеристикам данный светильник – аналог стандартного светильника с ЛЛ, но с возможностью регулировки  $T_{кц}$  и светового потока и низкой габаритной блёскостью. Основные технические характеристики:  $R_a \geq 90$ ;  $T_{кц}$  – настраиваемая в диапазоне 2700–6500 К с шагом 50 К; световой поток = 4500 лм, регулируемый в диапазоне 0–100 %; потребляемая мощность  $\leq 60$  Вт.

Во многом аналогичные задачи необходимо решать при создании оборудования с СД медицинского назначения. После решения задач по качеству света СД (правильной передаче цвета биотканей человека) получили развитие и широкое применение хирургические и стоматологические светиль-

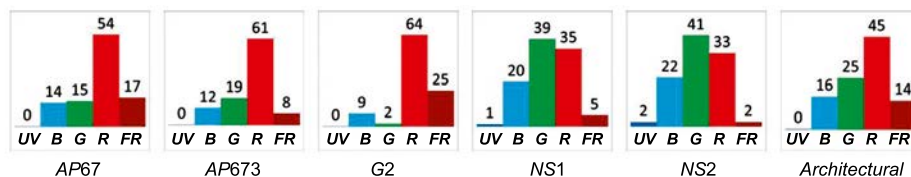


Рис. 13. Спектры излучения тепличных облучателей со светодиодами (компания *Valoya*)

ники с СД. Существенно шире стали применяться СД источники света для решения специальных задач (рис. 15) [23]. Данное направление, по нашим оценкам, будет в ближайшее время интенсивно развиваться.

Вопросы, затронутые при рассмотрении качества света СД и применения светильников с СД в медицине, перекликаются с проблемой фотобиологической безопасности. Фотобиологическая безопасность иногда рассматривается как несколько надуманная проблема, поскольку есть достаточно очевидные пути её решения: сдвигать пиковую длину волны  $\lambda_{max}$  синих СД кристаллов, применяемых в люминофорных белых СД, с 455 нм в район 405 нм или, например, устанавливая светофильтры, ослабляющие синюю часть спектра излучения, что, однако, снижает  $\eta$  белых СД.

Ещё один путь обеспечения фотобиологической безопасности – правильное конструирование светильников с СД, учитывающее требования нормативной базы по габаритной яркости и блёскости, причём весьма важно при этом наличие метрологического обеспечения производства и контроля за допуском этих изделий на рынок.

Начато продвижение СД в область УФ обеззараживания (рис. 16). Известны 2 прототипа устройств УФ обеззараживания, состоящие из реактора для облучения проточной воды и СД модуля с потоком излучения 150 мВт в спектральном диапазоне 250–300 нм ( $\lambda_{max} = 275$  нм). Устройство эффективно нейтрализует в воде бактерии *E. coli*, *R. Terrigena* и *P. aeruginosa*, а также вирусы *MS2 phage* и *fr phage* при расходе воды 0,5–2,0 л/мин. Использование УФ диодов делает устройство компактным. Другая информация не раскрывается.

Известен также прототип устройства для УФ обеззараживания и очистки воды, в котором используются УФ-обеззараживание и эффект фотокатализа на диоксиде титана  $TiO_2$ . В этом направлении активно работает кон-



Рис. 14. Светильник для фотостудии (ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»)

сорциум во главе с Коркским технологическим институтом (Ирландия) [24]. Суть заключается в протекании воды по спиралевидному каналу, заполненному миниатюрными шариками с  $TiO_2$ -покрытием. Под воздействием УФ излучения в приповерхностном слое этого покрытия происходит расщепление загрязняющих органических соединений на простейшие углеводороды и минералы.



Рис. 15. Светодиодные источники света для поиска и визуализации вен

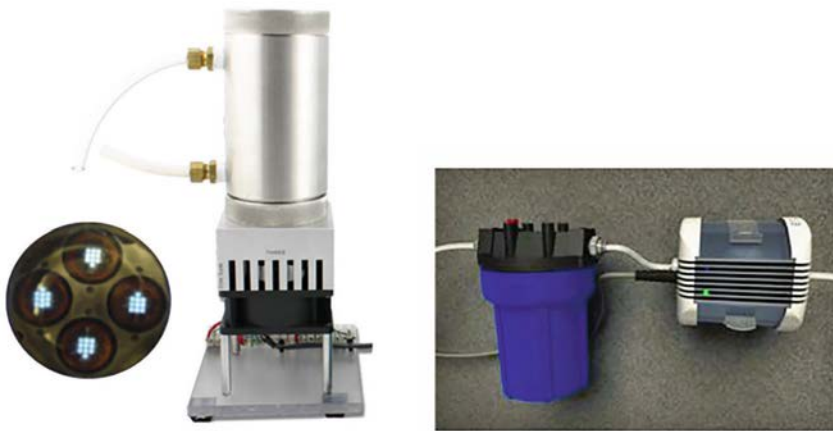


Рис. 16. Основные узлы и внешний вид устройств с УФ диодами для УФ-обеззараживания

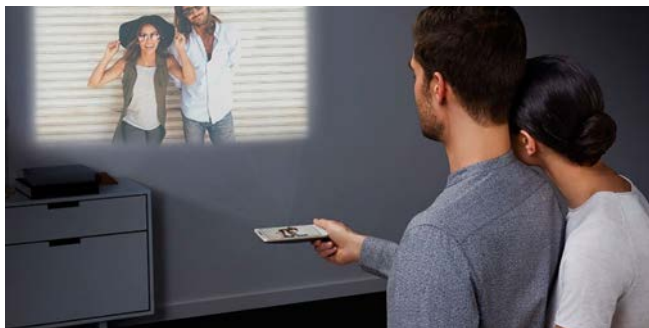


Рис. 17. Мобильный телефон серии «Moto Z» и проектор серии «Moto Insta-Share Projector»

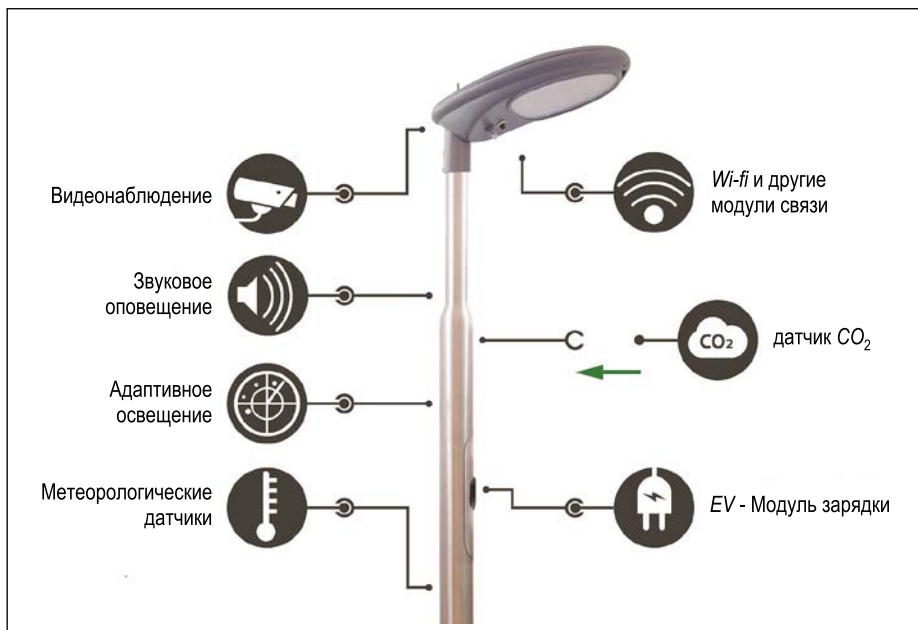


Рис. 18. Схематическое изображение уличного светильника со светодиодами

Ожидается, что эти прототипы выйдут в практику в ближайшие 3–5 лет.

Как уже говорилось, дисплейные технологии в начале 21 века служили движущей силой развития белых СД – для решения задач заднего освещения ЖК панелей. В настоящий

момент появилась не менее амбициозная задача – создать мобильный гаджет (смартфон) с функцией видеопроектора. Первые образцы таких изделий созданы и появились в продаже (рис. 17) [25].

Смартфоны «Moto Z» и проекторы «Moto Insta-Share Projector» (компания

Motorola) суммарно имеют разрешение 480p (854×480), контраст 1:400, световой поток 50 лм, размер экрана – до 70 дюймов (178 см) и время автономной работы до 1 ч. По некоторым сведениям, смартфон «Samsung S8» будет снабжён даже встроенным проектором. Аналогичные разработки проводит и компания Huawei. Для дальнейшего продвижения в этом направлении необходимы СД с  $\eta_v \geq 250$  лм/Вт,  $R_q \geq 90$  и т.д. Кроме того, необходимо решить задачи охлаждения таких СД, повышения ёмкости аккумуляторной батареи и снижения потерь света в канале формирования изображения. После решения этих задач в ближайшей перспективе (5–8 лет) потенциально у каждого жителя Земли будет в кармане лежать «кинотеатр».

Светотехнические компании всё чаще взаимодействуют с IT-компаниями и совместно обращаются к smart-освещению, чтобы получать доход от дополнительных возможностей, предоставляемых освещением. Они хотят сделать свет неотъемлемой частью «Интернета вещей» (в котором неодушевлённые предметы могут автоматически взаимодействовать друг с другом и выполнять согласованные действия, основанные на передаваемых данных, повышая эффективность использования энергии и облегчая повседневную жизнь).

Уличное освещение также предлагают перевести в разряд smart-освещения, и многие компании инвестируют значительные средства в модернизацию уличного освещения с наделением его дополнительными возможностями [26, 27]. Добавление датчиков, камер и даже громкоговорителей на «умный столб» делает систему освещения, конечно, дороже, но её расширенные возможности помогают различным службам вести свою работу, заменяя ведомственные узкоспециализированные сенсорные системы. Такие комбинации позволяют не только управлять включением освещения, но и одновременно следить за качеством воздуха, дорожным движением и загруженностью парковок, своевременно оповещать коммунальные службы о начавшемся снегопаде, делать звуковые сообщения о чрезвычайных ситуациях. Новизна этих функций относительна, и в такой совокупности на практике они встречаются редко. На рис. 18

приведено схематическое изображение уличного светильника с СД с достаточно универсальным набором функций [28].

В последнее время появилась новая «внутренняя» функция светильника. Это, так называемая, функция «*Li-Fi*», которая имеет ряд несомненных достоинств и недостатков. Некоторые примеры её возможного использования приведены в [29].

Представленная информация позволяет сделать некоторые выводы и заключения.

Осветительное оборудование с СД будет развиваться во многих направлениях, и ещё трудно предвидеть конечные результаты совершенствования его основных характеристик. Возможности реализации высоконадёжных светильников с СД малой и средней мощности уже доказаны на практике. За счёт дальнейшего повышения энергоэффективности СД, которое приведёт к снижению тепловыделения, и устойчивости к воздействию агрессивной среды будут реализованы высоконадёжные светотехнические устройства большой и сверхбольшой мощности с высоким качеством света и адаптивными функциями. Эти направления должны быть поддержаны развитием метрологического обеспечения, испытательного оборудования и нормативной базы в области СД оборудования с СД. Так что за работу, товарищи-светотехники!

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лишик С.И., Паутино А.А., Поседько В.С., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И.* Проблемы применения светодиодов в осветительных и светосигнальных устройствах и пути их решения // *Светотехника*. — 2008. — № 4. — С. 22–26.
2. *Трофимов Ю.В.* Как занять место под светодиодным солнцем. Постулаты развития светодиодной техники // *Современная светотехника*. — 2010. — № 1(02). — С. 14–17.
3. URL: <http://www.lumen2b.ru/catalog-luminaries> (дата обращения: 06.12.2016).
4. *Whitaker T.* LEDs in the mainstream: technical hurdles and standardization issues // *Leds Magazine Lighting*. — 2005. — October. — P. 11–13.
5. *Steele R.V.* LCD display backlighting and illumination markets drive HB-LED demand // *LEDs Magazine Review*. — 2006. — April. — P. 5–6.

6. URL: <http://www.electronics-eetimes.com/news/5630-packaged-led-delivers-210-220lmw> (дата обращения: 07.12.2016).

7. *Трофимов Ю.В.* Полупроводниковые светодиоды — новые сферы применения и тенденции развития рынка // *Электронные компоненты*. — 2003. — № 3. — С. 31–35.

8. *Трофимов Ю.В.* Полупроводниковые светодиоды — новые сферы применения и тенденции развития рынка (часть II) // *Электронные компоненты*. — 2004. — № 11. — С. 1–6.

9. URL: [http://www.seoulsemicon.com/WICOP/WICOP\\_en.asp](http://www.seoulsemicon.com/WICOP/WICOP_en.asp) (дата обращения: 28.10.2016).

10. *Лишик С.И., Паутино А.А., Поседько В.С., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И.* О светодиодных лампах прямой замены // *Светотехника*. — 2010. — № 1. — С. 48–54.

11. *Лишик С.И., Паутино А.А., Поседько В.С., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И.* Конструктивно-технологические решения светодиодных ламп прямой замены // *Светотехника*. — 2010. — № 2. — С. 7–12.

12. *Трофимов Ю.В., Каледа И.А., Таугенов А.С., Лишик С.И.* Эволюция светодиодных ламп прямой замены // *Наука и инновации*. — 2015. — № 10 (152). — С. 13–17.

13. URL: <http://www.olino.org/advice/us/retrofit/step> (дата обращения: 05.12.2016).

14. URL: <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2483488,00.asp> (дата обращения: 05.12.2016).

15. URL: <http://www.toptenreviews.com/home/smart-home/best-led-light-bulbs> (дата обращения: 05.12.2016).

16. *Panasonic LED Bulb Wins Gold Award at Good Design Award 2011* // URL: <http://news.panasonic.com/global/topics/2011/7682.html> (дата обращения: 05.12.2016).

17. URL: <http://wellmaxgroup.com> (дата обращения: 06.12.2016).

18. URL: <http://gc-lighting.com/products/cloud-br30-8w/> (дата обращения: 07.12.2016).

19. *Wright M.* LED lighting advances in horticultural applications, boosts productivity // *Leds Magazine*. — 2014. — July. — P. 10–11.

20. URL: [http://www.theguardian.com/environment/2016/feb/01/japanese-firm-to-open-words-first-robot-run-farm?CMP=share\\_btn\\_link](http://www.theguardian.com/environment/2016/feb/01/japanese-firm-to-open-words-first-robot-run-farm?CMP=share_btn_link) (дата обращения: 06.12.2016).

21. URL: <http://www.valoya.com> (дата обращения: 06.12.2016).

22. URL: <http://www.illumitex.com> (дата обращения: 06.12.2016).

23. URL: <http://www.accuvein.com> (дата обращения: 06.12.2016).

24. URL: [http://www.aqua-pulse.org/images/pdf/Aqua-pulse\\_Brochure.pdf](http://www.aqua-pulse.org/images/pdf/Aqua-pulse_Brochure.pdf) (дата обращения: 06.12.2016).

25. URL: <https://www.motorola.com/us/products/moto-mods/moto-insta-share-projector> (дата обращения: 06.12.2016).

26. URL: <http://www.pennsmartlighting.com> (дата обращения: 06.12.2016).

27. URL: <http://www.lightwell.eu> (дата обращения: 06.12.2016).

28. URL: <http://www.lightinginsight.com/lightmotion-lightwells-intelligent-lamp-post> (дата обращения: 06.12.2016).

29. URL: <http://luxreview.com/article/2016/06/lifi-innovators-on-track-to-complete-paris-metro-installation> (дата обращения: 06.12.2016).



**Лишик Сергей Иванович**, кандидат техн. наук. Окончил в 1999 г. физический факультет Белорусского государственного университета. Учёный секретарь ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»



**Поседько Валерий Сергеевич**, кандидат техн. наук. Окончил в 1981 г. факультет радиофизики и электроники Белорусского государственного университета. Заведующий научно-

исследовательским отделом ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»



**Трофимов Юрий Васильевич**, кандидат техн. наук. Окончил в 1972 г. химический факультет Белорусского государственного университета. Директор ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»



**Цвирко Виталий Иванович**, инженер. Окончил в 2000 г. факультет радиофизики и электроники Белорусского государственного университета. Начальник испытательной лаборатории ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»

# Современное состояние и перспективы развития компьютерных методов моделирования осветительных установок

В.П. БУДАК, В.С. ЖЕЛТОВ

НИУ «МЭИ», г. Москва  
E-mail: budakvp@gmail.com

## Аннотация

Проанализировано развитие методов моделирования осветительных установок (ОУ) на компьютере за последние 30 лет, которое началось с попыток автоматизации рутинных этапов проектирования ОУ с помощью компьютера. Описаны возникавшие при этом проблемы и способы их решения, реализованные в настоящее время в виде программ, визуализирующих на экране дисплея пространственно-угловое распределение светового поля в ОУ на основе численного решения уравнения глобального освещения, строго описывающего световые характеристики в приближении геометрической оптики.

**Ключевые слова:** осветительные установки, теория глобального освещения, радиосити, излучательность, трассировка лучей, мгновенная излучательность, метод Монте-Карло.

## 1. От проектирования к моделированию осветительных установок

Особенностью научно-технического прогресса на сегодня является цифровая революция, состоящая в том, что вся система знаний приобретает цифровую форму файлов, баз данных, программ расчёта, систем автоматизированного проектирования. При этом, если на первом этапе в середине 90-х годов прошлого века с появлением и массовым распространением персональных компьютеров с помощью компьютерных программ лишь автоматизировали работу инженера-проектировщика, перенося изнуряющие вычисления на компьютер, то дальнейшее развитие цифровых технологий привело к возникновению принципиально новых алгоритмов и программ, открывающих совсем иные горизонты в создании и разработке

новых систем. Сейчас в литературе обсуждается термин «вторая цифровая революция», в результате которой компьютеры будут выполнять функции, которые ранее даже и не предполагалось переносить на них, например, управление транспортными средствами без водителя.

Одной из важнейших областей светотехники, где цифровая революция произошла наиболее ярким и драматическим образом, является проектирование ОУ. Как было сказано, на первом этапе на компьютер были переложены стандартные и наиболее рутинные процедуры проектирования ОУ. На этом этапе возникла идея – если программы рассчитывают освещённость, а, следовательно (в предположении, что все поверхности отражают свет диффузно, что было общепринятым при расчёте ОУ), и яркость, то выведя это распределение на экран, мы увидим изображение установки. Однако это оказалось не так. На рис. 1 показано синтетическое изображение простейшей сцены: стола, накрытого полосатой скатертью, на которой располагаются металлическая полусфера и стеклянный цилиндр. Вся сцена освещена параллельным пучком света. На рис. 1, а эта сцена отображена в том виде, который был бы получен при проведении расчётов на основе закона обратных квадратов, что в то время было общепринятой схемой расчёта ОУ. Как видим, это изображение выглядит совершенно нереалистично, глаз отказывается воспринимать полусферу как металлическую, а цилиндр считать стеклянным. Главные причины неприятия сцены – это резкие тени и отсутствие отражений объектов друг в друге. Такой метод расчёта синтетического изображения в компьютерной графике получил название локальной модели освещения [1]. Очевидно, что для реалистической визуализации сцен необходим алгоритм учёта многократных отражений (пропусканий) в сцене – глобальное освещение [1].

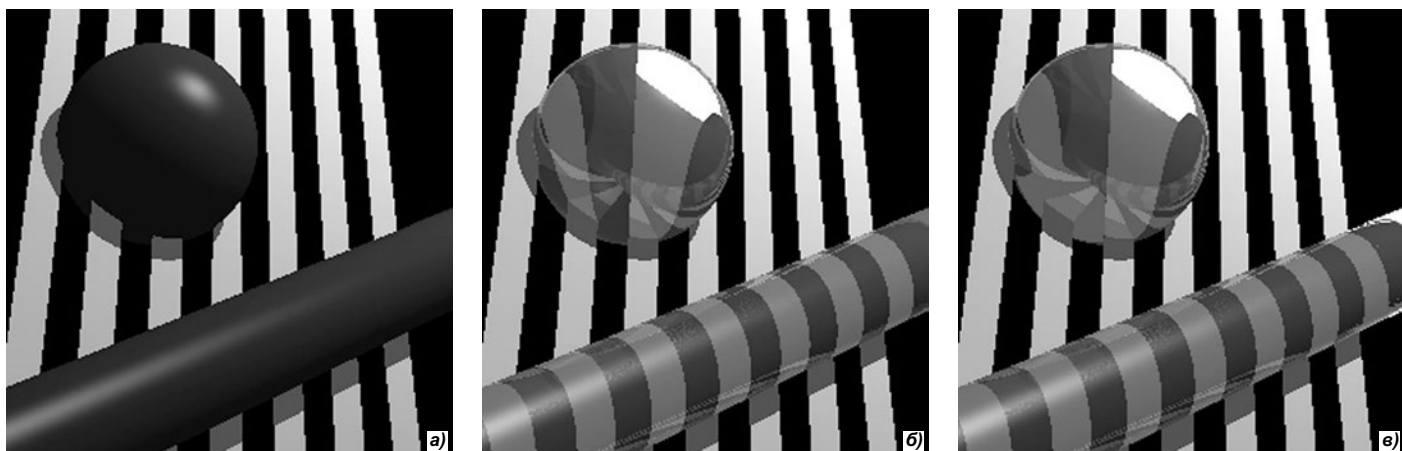


Рис. 1. Визуализация простейшей сцены освещения при учёте различного количества кратностей отражений: а – однократное отражение; б – 8 отражений; в – 64 отражения

Поэтому настоящая цифровая революция в расчёте ОУ произошла благодаря развитию не только вычислительной техники, но и математических методов. В 1986 году *J. Kajiya* сформулировал уравнение визуализации, представляющее собой уравнение Фредгольма второго рода [2]:

$$L(r, \hat{l}) = L_0(r, \hat{l}) + \frac{1}{\pi} \oint L(r, \hat{l}') \sigma(r; \hat{l}, \hat{l}') |(\hat{N}, \hat{l}')| d\hat{l}' \quad (1)$$

где  $L(r, \hat{l})$  — яркость светового поля в точке  $r$  в направлении  $\hat{l}$ ,  $\sigma(r; \hat{l}, \hat{l}')$  — коэффициент яркости элемента поверхности в точке  $r$  в направлении  $\hat{l}$  при направленном освещении этого элемента параллельным пучком света в направлении  $\hat{l}'$ , часто называемым двунаправленной функцией рассеяния (отражения или пропускания),  $L_0$  — прямая (непосредственно от источников) компонента яркости,  $\hat{N}$  — нормаль в точке  $r$  к элементу поверхности сцены. Здесь и далее «крышечкой» над вектором будем обозначать единичные векторы направлений, играющие исключительно важную роль в светотехнике. Контурный интеграл в (1) означает интегрирование по полному телесному углу, элемент которого обозначен через  $d\hat{l}'$ .

Уравнение является замкнутым для определения искомого распределения яркости  $L(r, \hat{l})$ , однако использовать его для разработки численных методов затруднительно, поскольку нас интересует пространственная зависимость яркости, а интегрирование в уравнении происходит по телесному углу. Используя неизменность яркости вдоль луча визирования и соотношение между телесным углом  $d\hat{l}'$  и площадью элемента  $d^2r'$ , вырезаемым им из отражающей свет в точку  $r$  поверхности, нетрудно получить новую форму уравнения, получившую название уравнение глобального освещения (УГО) [3]:

$$L(r, \hat{l}) = L_0(r, \hat{l}) + \frac{1}{\pi} \int_{\Sigma} L(r', \hat{l}') \sigma(r; \hat{l}, \hat{l}') F(r, r') \Theta(r, r') d^2r' \quad (2)$$

где  $F = \frac{|\langle \hat{N}(r), (r-r') \rangle| |\langle \hat{N}(r'), (r-r') \rangle|}{(r-r')^4}$  — элементарный

форм-фактор или коэффициент использования,  $\Theta(r, r')$  — функция видности элемента  $d^2r'$  из точки  $r$ . Символом  $\Sigma$  обозначены все поверхности, многократные отражения от которых принимаются в расчёт.

Определение  $\Sigma$  нетривиально, поскольку мы всегда исключаем из расчёта ОУ какие-то реальные поверхности, например, коридор при расчёте комнаты или улицу при расчёте естественного освещения. Множество поверхностей, которые принимаются в расчёт, принято называть сценой освещения.

Точное решение УГО на сегодняшний день не найдено. Поэтому на практике его решают численно. Для этого все поверхности, входящие в сцену освещения, заменяют сеткой из плоских граней. При этом интеграл в уравнении заменяется конечной суммой, что сводит интегральное уравнение к системе линейных алгебраических уравнений. В математике подобный приём решения уравнений получил название метода конечных элементов [4]. Для вы-

сокой точности решения необходимо разбивать сцену по пространству на очень малые пространственные и угловые элементы, что приводит к необходимости решать очень большую систему из миллионов уравнений. Вследствие неизбежности округления любой операции на компьютере, такая задача становится математически некорректной. Единственно возможным устойчивым методом решения такой системы является метод итераций, что физически эквивалентно трассировке лучей. Отметим, что впервые метод энергетического расчёта оптических систем трассировкой лучей предложен в [5], а соответствующий расчёт световых приборов — в [6, 7].

Если провести расчёт описанной сцены методом трассировки лучей с учётом 8 коллизий (переотражений и пропусканий), то получим изображение, приведённое на рис. 1, б. Возникает законный вопрос — а сколько отражений нужно учесть? На рис. 1, в показано изображение, полученное с учётом 64 отражений — нетрудно отметить, что учёт 64 коллизий очень существенен для реалистического воспроизведения изображения сцены. И это для простейшей сцены. Очевидно, что в сценах внутреннего освещения, где стены, потолок и пол расположены напротив друг друга, счёт отражений может идти на тысячи. Для компьютеров конца 80-х — начала 90-х это не представлялось возможным.

Ситуация существенно упрощается, если предположить, что сцена освещения состоит только из диффузно отражающих поверхностей:  $\sigma(r; \hat{l}, \hat{l}') = \sigma(r)$ . В этом случае яркость не зависит от направления  $\hat{l}$  и однозначно связана со светимостью грани отражённым светом  $M(r) = \pi L(r)$ , что позволяет преобразовать (2) к виду:

$$M(r) = M_0(r) + \frac{\sigma(r)}{\pi} \int_{\Sigma} M(r') F(r, r') \Theta(r, r') d^2r', \quad (3)$$

где  $M(r)$  — светимость в точке  $r$ ,  $M_0(r)$  — начальная светимость в точке  $r$  непосредственно от источников света в приближении одного отражения. Уравнение впервые было получено в теории расчёта ОУ и получило название уравнение излучательности (*radiosity*) [8].<sup>1</sup>

Уравнение излучательности также решается заменой интеграла конечной суммой, но, вследствие отсутствия угловой зависимости у яркости, количество уравнений уменьшается в тысячи раз, что делало такое решение доступным для компьютеров 90-х. Отметим, что в светотехнике метод излучательности в конечных разностях был впервые сформулирован в работе [9], интегральное уравнение выведено в [10], а УГО впервые было получено в работе советского теплофизика Г.Л. Поляка [11] для лучистого теплообмена в печах, однако оно не оказало влияние на развитие компьютерной графики.

Решение уравнения излучательности методом конечных элементов и получило название метода излучательности. В этом случае конечные элементы поверхности соединяются конечными пучками, а не бесконечно тонкими

<sup>1</sup> Термин *radiosity* был введён в английский язык П. Муном, и по правилам образования существительного его можно перевести как «излучательность». Иногда термин *radiosity* «переводят» на русский язык как «радиосити». На сегодняшний день в русскоязычной литературе оба термина — радиосити и излучательность — являются синонимами.

лучами метода трассировки. Это существенно сокращает время счёта. Впервые метод излучательности был реализован в программе *Lightscape*, а на сегодняшний день именно метод излучательности лежит в основе ключевых программных продуктов для моделирования ОУ — *DIALux* [12] и *Relux* [13].

Эти программы позволяют рассчитывать не значения освещённости в некоторых точках сцены, а световое поле во всём объёме сцены. При этом распределение светового поля в сцене при учёте многократных отражений зависит не только от источников света, но и от объектов сцены и их взаимного положения. Тем самым, в этих программах реализуется не проект ОУ, а её действующая, «живая» модель, а процесс проектирования заменяется моделированием.

УГО и методы его решения составляют основу как программ компьютерной графики по визуализации виртуальных объектов, так и моделирования ОУ. Именно УГО позволяет рассчитать световое поле во всём объёме сцены освещения, а сам процесс создания синтетического изображения представляет собой визуализацию пространственно-углового распределения яркости. При этом можно сказать, что воплотились мечты создателей начертательной геометрии Гаспара Монжа (*Gaspard Monge*, 1746–1818) и Юлиуса Плюккера (*Julius Plücker*, 1801–1868), чтобы формулы выражали красоту реального мира.

## 2. Эра излучательности

После реализации метода излучательности, он стал по сути стандартом для всех программ компьютерной графике по созданию синтетических изображений трёхмерных сцен. Главная привлекательная сторона метода — синтетические изображения, создаваемые на основе решения методом излучательности, получались за приемлемое время и по качеству соответствовали качеству фотографии объекта. Несовпадение диапазона яркостей экрана дисплея с диапазоном яркостей в сцене освещения перед выводом на экран обусловило неизбежность масштабирования по яркости, что приводит к фотореалистическому, но не визуальному, отображению сцены, поскольку глаз человека является сложным, нелинейным приёмником. Однако люди давно привыкли судить об объектах по их фотографиям, что даёт им возможность увидеть ещё только проектируемый объект.

В светотехническом проекте всегда присутствуют три заинтересованные стороны: заказчик, дизайнер и проектировщик. Каждый из них описывает и оценивает качество ОУ в своей терминологии. Фотография (синтетическое изображение на экране) создаёт единый язык общения и понимания между ними. Этот факт оказался решающим, и программы моделирования ОУ быстро полностью вытесняют другие методы проектирования ОУ.

Метод излучательности стал первым методом, позволившим учесть многократные отражения в диффузном приближении. И именно диффузная модель отражения стала краеугольным камнем этого метода. Однако не менее существенным фактором является то, что визуализация строится на основе расчёта ОУ методом излучательности, что существенно улучшает обычную методику. При этом проектировщик получает не значения освещённости или яркости в отдельных точках сцены освещения, а па-

раметры светового поля во всех её точках. Это позволяет представить распределение светового поля в различных формах: таблицы, изолюксы, фиктивные (псевдо) цвета, что снимает недостатки фотореалистического воспроизведения: изображение на экране масштабируется, контрастируется, изменяется по цвету. Тем самым снимается главная проблема проектирования ОУ: сам объект проектирования — свет — в отличие от любого другого объекта, невидим, и только созданная ОУ позволит увидеть все объекты в целом.

В свою очередь, изображение объекта в сочетании со средствами анализа распределения света дали возможность проектировать ОУ не только опираясь на значения освещённости или яркости в фиксированных точках сцены, но и учитывая качество освещения: дискомфорт, световой ритм, акценты. Программы моделирования ОУ, решая проблемы расчёта и анализа распределения светового поля по сцене и создавая изображение сцены, открыли широкие возможности для дизайна ОУ. По сути мы становимся свидетелями нового подхода к созданию ОУ и, соответственно, возникновения новой профессии — светодизайн.

Дальнейшее развитие программ моделирования ОУ и основанного на нём светодизайна выявили и серьёзные проблемы метода излучательности:

- Правильное определение дискомфорта требует точного расчёта распределения яркости в бликах от больших поверхностей в сцене. В рамках метода излучательности расчёт многократных отражений проводится в предположении диффузного отражения от всех поверхностей, а наличие блеска уточняется на финальной стадии расчёта — визуализации, — при обратной трассировке лучей, что позволяет сформировать блеск скорее в синтетическом изображении, не давая количественной оценки распределения яркости.

- Метод излучательности оказывается практически совершенно неэффективным при наличии в сценах прозрачных поверхностей, роль которых непрерывно возрастает: стеклянные фасады, прозрачные офисные перегородки.

- С ростом сложности сцены трудоёмкость метода излучательности растёт существенно быстрее, чем в случае метода трассировки лучей, и, начиная с некоторого порога, трассировка становится намного эффективнее. Это не позволяет моделировать методом излучательности сложные сцены: большие многозональные площадки, этажи зданий, улицы.

## 3. Трассировка лучей

Дальнейшее развитие методов решения УГО произошло в задачах компьютерной графики по реалистичной визуализации трёхмерных сцен. Одним из значимых методов стал метод фотонных карт [14]. Этот метод основан на рассмотрении переноса излучения частицами — фотонами, двигающимися по световым лучам и переносящими некоторые дискретные порции световой энергии. На начальном этапе фотоны испускаются источником света в соответствии с его распределением энергии излучения. В процессе моделирования, фотоны трассируются в сцене и соударяются с различными элементами сцены. В зависимости от свойств материала поверхности, с фотоном происходят различные события: рассеянное отражение,

зеркальное отражение, преломление или поглощение. При этом конкретное событие, происходящее с фотоном, выбирается на основе свойств материала поверхности и статистического метода «Русская рулетка» [14]. Каждый рассеянно отражённый фотон при этом вносится в список. После накопления статистики, строится фотонная карта в виде некоторой структуры пространственного разбиения, позволяющей быстро найти  $N$  ближайших фотонов. На последнем этапе происходит сбор яркости.

Воспользовавшись известным соотношением между яркостью падающего излучения и потоком:

$$L(r, \hat{l}') = \frac{d^2\Phi(r, \hat{l}')}{\cos\theta d\omega d\hat{l}' dA}, \quad (4)$$

можно переписать уравнение (1) в виде

$$L(r, \hat{l}) = L_0(r, \hat{l}) + \frac{1}{\pi} \int \sigma(r; \hat{l}, \hat{l}') \frac{d^2\Phi(r, \hat{l}')}{dA}. \quad (5)$$

Падающий поток  $\Phi(r, \hat{l}')$  можно аппроксимировать с помощью фотонной карты, собрав  $N$  ближайших к точке  $r$  фотонов:

$$L(r, \hat{l}) \approx L_0(r, \hat{l}) + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^N \sigma(r; \hat{l}, \hat{l}') \frac{\Delta\Phi(r, \hat{l}')}{\Delta A}, \quad (6)$$

где  $\Delta A$  – площадь полусферы, образованной относительно точки  $r$  с радиусом, равным расстоянию до самого дальнего фотона.

В результате метод фотонных карт позволяет моделировать уже само УГО и получать яркость с учётом многократных диффузно-направленных отражений. При этом все иные процессы взаимодействия с материалом (зеркальное отражение, преломление) должны быть учтены другими способами. Рассмотренный выше вариант сбора яркости приводит к значительному шуму в получаемых результатах.

Для устранения шума используется финальный сбор. В методе финального сбора из заданной точки в полусферическое пространство испускается некоторое число лучей, и яркость собирается уже в тех местах полусферы, куда попали лучи. На основе полученных значений яркости рассчитывается яркость для заданной точки. Это позволяет значительно снизить уровень шума [14], но при этом возрастает объём вычислений.

В 2000-е годы метод фотонных карт очень активно использовался в компьютерной графике, а позднее он нашёл своё место и в светотехнике. В основу нового продукта *DIALux Evo* лёг именно метод фотонных карт [12]. Основных предпосылок для перехода *DIALux* с метода конечных элементов было две: ограничения на модель отражения и ограничения на размер сцены.

В последние годы в светотехническом сообществе витает идея о том, что нельзя рассматривать отдельно моделирование внутреннего и наружного освещения, нельзя раздельно моделировать большие внутренние пространства. Моделирование освещения должно быть единым неразрывным процессом для всего объекта и рассматриваться как единое целое. Однако эта предпосылка долгое время упиралась в техническую сложность моделирования боль-

ших объектов методом излучательности. Дело в том, что время счёта растёт пропорционально квадрату количества элементов. В методе фотонных карт эта зависимость менее характерна, и в некотором приближении она сводится к росту вычислений лишь в процессе трассировки лучей, когда приходится перебирать большее число объектов. Появление *DIALux Evo* на основе метода фотонных карт и должно позволить перейти на иной уровень моделирования ОУ. Однако в инженерной практике на данный момент это фактически так и не произошло.

Отметим, что на сегодняшний день существуют специально оптимизированные библиотеки трассировки лучей, учитывающие особенности архитектуры современных центральных и графических процессоров, например, *Intel Embree* [15]. Эти библиотеки позволяют разработчикам современных светотехнических программ абстрагироваться от ряда сложнейших вопросов оптимизации и сосредоточиться на решении своих прикладных задач.

В последнее время большое место в компьютерной графике занял метод *Instant Radiosity*, впервые изложенный в феноменологическом подходе в 1997 г. в работе А. Келлера [16]. В этой работе Келлер качественно рассматривает процесс моделирования многократных отражений в УГО на основе фиксации в сцене набора вторичных источников и расчёта их вклада в яркость для исследуемой точки. Однако как показано в нашей работе [17], этот метод основан на хорошо известных локальных оценках, впервые предложенных в атомной физике [18]. Своё дальнейшее мощное развитие локальные оценки получили при решении уравнения переноса излучения в оптике атмосферы и океана [19].

УГО может быть записано в виде интеграла по пространству и разложено в ряд Неймана. После ряда преобразований полученное разложение может быть записано в виде [17]:

$$L(r, \hat{l}) = L_0(r, \hat{l}) + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{1}{\pi} \frac{L_0(r_{1i}, \hat{l}_{1i})}{p_1(r_{1i}, \hat{l}_{1i})} \frac{\sigma(r; \hat{l}_{1i}, \hat{l}) G(r_{1i}, r)}{p_2(r_{1i}, \hat{l}_{1i} \rightarrow r, \hat{l})} + \frac{1}{\pi^2} \frac{L_0(r_{1i}, \hat{l}_{1i})}{p_1(r_{1i}, \hat{l}_{1i})} \frac{\sigma(r_{2i}, \hat{l}_{1i}, \hat{l}_{2i}) G(r_{1i}, r_{2i})}{p_2(r_{1i}, \hat{l}_{1i} \rightarrow r_{2i}, \hat{l}_{2i})} \times \right. \\ \left. \times \frac{\sigma(r; \hat{l}_{2i}, \hat{l}) G(r_{2i}, r)}{p_2(r_{2i}, \hat{l}_{2i} \rightarrow r, \hat{l})} + \dots \right) \quad (7)$$

Это выражение может быть интерпретировано как цепь Маркова. В результате построения цепи Маркова можно на каждом её шаге оценивать ядро уравнения, определяющее вероятность схода с траектории в исследуемые точки  $r, \hat{l}$ . Накапливая статистику, мы получим непосредственно яркость в заданных точках в заданных направлениях [17]. Предложенный метод локальных оценок был реализован нами в рамках этой работы, и на рис. 2 приведён пример визуализации сцены, осуществлённой при помощи этого метода.

В настоящее время активно развиваются и другие методы моделирования УГО, из которых можно отметить: трассировку путей (*path tracing*) и расчёт переноса света методом Метрополиса (*metropolis light transport*) [20]. При этом методы и их реализацию можно разделить на два основных класса – смещённые и несмещённые. Несме-

щённые методы получили очень широкое развитие в прикладных задачах визуализации, в кино, в компьютерных играх, в симуляторах. Т.е. там, где важно не точное пространственно-угловое распределение яркости, а «фото-реалистичное» изображение.

#### 4. Через тернии к звёздам

Феноменальное развитие методов моделирования УГО нашло применение в кино, телевидении, архитектурном проектировании и множестве других прикладных задач, но не в инженерной практике светотехнического проектирования ОУ. Ситуация кажется парадоксальной: в задачах компьютерной графики с помощью современных методов рассчитывается яркость с учётом многократных отражений, а в светотехнике используется главным образом освещённость. В то же время, такая ситуация является вполне закономерной.

Современные нормативные документы для внутреннего освещения, как российские [21], так и европейские [22], в качестве нормируемой характеристики используют освещённость и производную от неё равномерность освещённости. При этом отметим, что глаз человека не реагирует на освещённость, а видит яркость. Яркость же нормируется только в наружном освещении, например, в освещении автомобильных дорог или архитектурном освещении [23]. Такая ситуация легко объяснима — когда формировалась нормативная документация, моделировать яркость с учётом многократных отражений не было возможности. Не существовали ни методы моделирования, ни необходимые вычислительные мощности. Развитие вычислительной техники и методов математического моделирования позволило решать УГО, однако решалось оно с оглядкой на нормативные документы. Зачем считать пространственно-угловое распределение яркости, если нормируется интегральная характеристика — освещённость? Это приводит нас в замкнутый круг. Подтверждением этого становится *DIALux Evo*, основанный на методе, позволяющем моделировать яркость, но не нашедший своего места в инженерной практике.

Ситуация с нормированием количественных характеристик находит своё отражение и в области качественных характеристик. В инженерной практике на сегодняшний день, в основном, используется объединённый показатель дискомфорта *UGR* [21]

$$UGR = 8 \lg \left[ \frac{0,25 \sum_{i=1}^N L_i^2 \omega_i}{L_a \sum_{i=1}^N p_i^2} \right], \quad (8)$$

где  $L_i$  — яркость блёского источника, кд/м<sup>2</sup>,  $\omega_i$  — угловой размер блёского источника, стёр,  $p_i$  — индекс позиции блёского источника относительно линии зрения,  $L_a$  — яркость адаптации, кд/м<sup>2</sup>. При этом при моделировании в существующих программных средствах будут учтены только непосредственно сами источники света, тогда как блики на отражающих поверхностях в показатель дискомфорта не войдут.

Результатом стала ситуация, когда количественно проектирование производится применительно к не воспринимаемой человеком характеристике — освещённости, а вопросы качества полностью возлагаются на опыт

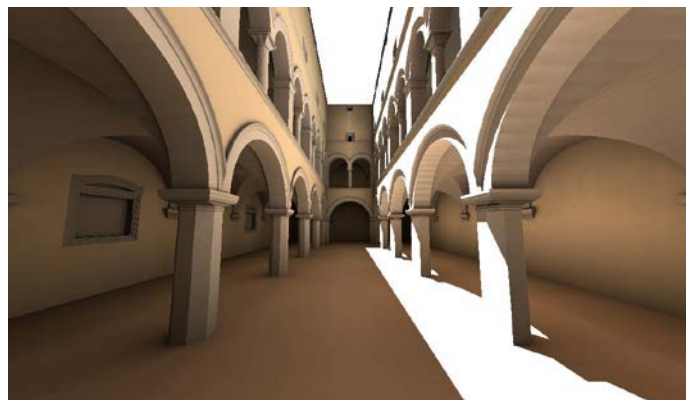


Рис. 2. Визуализация стандартной тестовой трёхмерной сцены *Dabrovic Sponza* локальными оценками метода Монте-Карло

и интуицию проектировщика. Появившиеся новые методы моделирования УГО позволяют подойти к вопросу пересмотра нормативной документации и формирования как новых количественных показателей, нормирующих пространственно-угловое распределение яркости, так и новых качественных характеристик, полученных на его основе.

Эволюционное развитие светотехнического моделирования ОУ на основе революции 90-х годов подходит к своему логическому завершению, и следующий шаг в развитии вновь должен стать революционным. Результатом этого шага должен стать переход от проектирования ОУ применительно к заданному распределению освещённости к проектированию применительно к заданному качеству освещения.

Другим важным направлением развития программ моделирования ОУ должен стать переход от фотореалистического синтеза изображения к реалистическому на основе использования равноконтрастных систем. Это позволит на основе законов цветоцветового подобия выводить такие изображения ОУ, какими их будет воспринимать глаз человека, что даст возможность заказчику и дизайнеру сравнивать различные варианты освещения и выбирать наилучший по визуальному восприятию. Однако это отдельная большая тема, выходящая за рамки настоящего обзора современных методов моделирования ОУ на компьютере.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Foley, J.D., van Dam, A., Feiner, S.K., Hughes, J.F. Computer Graphics: Principles and Practice. — Addison-Wesley Professional, 1994.
2. Kajiya, J.T. The rendering equation // Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'86). — 1986. — Vol. 20, No. 4. — P. 143–150.
3. Будаков В.П. Компьютерная графика — светотехнический проект на компьютере // Светотехника. — 1999. — № 1. — С. 22–25.
4. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. — М.: Мир, 1984/
5. Медведев В.Е., Парицкая Г.Г. Расчёт освещённости в изображении // Оптика и спектроскопия. — 1966. — Том 22, № 5. — С. 638–642.
6. Куц О.К., Митин А.И. Расчёт светораспределения зеркальных симметричных поверхностей с протяжённым источником света на ЭВМ // Светотехника. — 1976. — № 6. — С. 3–5.



7. Коробко А.А., Куц О.К. Использование метода Монте-Карло в светотехнических расчётах // Светотехника, 1986. № 10. – С. 14–17.

8. Goral, C., Torrance, K., Greenberg, D., Battaile, B. Modeling the interaction of light between diffuse surfaces // Computer Graphics. – 1984. – Vol. 18, No. 3. – P. 213–222.

9. Yamauti, Z. The light flux distribution of a system of inter-reflecting surfaces // Journal of the Optical Society of America. – 1926. – Vol. 13, No. 5. – P. 561–571.

10. Moon, P. On Interreflections // Journal of the Optical Society of America. – 1940. – Vol. 30, No. 2. – P. 195–205.

11. Поляк Г.Л. Лучистый теплообмен тел с произвольными индикатрисами отражения поверхностей/ в кн.: Конвективный и лучистый теплообмен. – М.: АН СССР, 1960. – С. 118–132.

12. [www.dialux.de](http://www.dialux.de)

13. [www.relux.biz](http://www.relux.biz)

14. Christensen, N. J., Jensen, H. W. A Practical Guide to Global Illumination and Photon Maps // Siggraph. – 2000. – Course 8, July 23. – 77 p.

15. Wald, I., Woop, S., Benthin, C., Johnson, G.S., Ernst, M. Embree – A Kernel Framework for Efficient CPU Ray Tracing // ACM Transactions on Graphics (proceedings of ACM SIGGRAPH). – 2014. – Vol. 33, No. 4, Article 143 (July 2014). – 8 p.

16. Keller A. Instant radiosity // Proc. SIGGRAPH, 1997. – P. 49–56.

17. Budak, V., Zheltov, V., Notfulin, R., Chembayev, V. Relation of Instant Radiosity Method with Local Estimations of Monte Carlo Method // WSCG 2016. – P. 189–197

18. Kalos, M.H. On the Estimation of Flux at a Point by Monte Carlo // Nuclear Science and Engineering. – 1963. – Vol. 16, No.1. – P. 111–117.

19. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике / Под ред. Г.И. Марчука. – Новосибирск: Наука, 1976

20. Pharr, M., Humphreys, G. Physically based rendering from theory to implementation. – Morgan Kaufmann Publishers, 2010.

21. ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».

22. EN12464–1:2002 «The Lighting of Workplaces»

23. ГОСТ Р 55706–2013 «Освещение наружное утилитарное.. Классификация и нормы».

## Минсельхоз США использует светильники с СД для исследований на кукурузе

Компания LumiGrow сообщила, что Министерство сельского хозяйства США (USDA) использует её светильники с СД при проведении исследований в области сельскохозяйственного освещения по выращиванию кукурузы и других культур, таких как соя. Служба сельскохозяйственных исследований USDA изучает влияние управления спектром излучения, которое стало возможным благодаря СД, на ускорение цветения растений и другие характеристики их роста.



Исследования по улучшению урожайности гибридных сортов кукурузы проводились ранее в теплицах с использованием натриевых ламп высокого давления (НЛВД). Однако применение СД имеет ряд преимуществ, включая возможность выбора спектра излучения светильников. Известно, что вырабатываемое НЛВД тепло приводит к преждевременному созреванию пыльцы таких растений, как кукуруза, которые имеют большую высоту и, тем самым, расположены близко к источнику света. В то же время, светильники с СД можно располагать близ растений, не создавая никаких связанных с нагревом проблем.

И всё же наиболее привлекательным для сельского хозяйства в применении СД является возможность управления спектром излучения. При этом СД позволяют как оптимизировать процесс фотосинтеза, так и влиять на цветение и форму каждого конкретного типа растений.

Предварительные результаты проведённых в USDA испытаний говорят о том, что под воздействием синего света растения начинают цвести на 3 дня раньше, а под воздействием красного света наблюдались утолщение стеблей и усиленный вегетативный рост.

Светильники с СД компании LumiGrow позволяют исследователям регулировать освещение растений на всём цикле выращивания растений. USDA использовало светильники «Pro 650» компании LumiGrow.

Полученные результаты будут переданы коммерческим сельскохозяйственным предприятиям для повышения урожайности растений.

[www.ledsmagazine.com](http://www.ledsmagazine.com)

03.01.2017

## Освещение региональных автодорог

ООО «Светосервис-Подмосковье», которое входит в состав холдинга BL Group, завершило проект по установке светильников GALAD серии «ЖКУ 21 Гелиос» с натриевыми лампами ВД на 22 аварийно-опасных участках региональных автодорог. Помимо светильников производства ООО «Лихославльский завод «Светотехника», в проекте использовали опоры, созданные ООО «ОПОРА ИНЖИНИРИНГ».



До реализации проекта участки дорог освещены не были и представляли опасность как для пешеходов, так и для автотранспорта. Проект был реализован в рекордно короткие сроки: за один месяц.

Теперь освещение небезопасных участков, в частности, Пятницкого, Волоколамского, Старого Симферопольского и Щелковского шоссе соответствует действующим нормам.

Общая протяженность отремонтированных автодорог – более 30 км.

[www.bl-g.ru](http://www.bl-g.ru)

11.01.2017



**Будак Владимир Павлович**, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1981 г. МЭИ. Профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ». Член редколлегии журнала «Светотехника»



**Желтов Виктор Сергеевич**, кандидат техн. наук. Окончил в 2005 г. кафедру «Светотехника» НИУ «МЭИ»

# Исследование характеристик оптического министика с VCSEL-лазером

С.А. ГОЛУБИН<sup>1</sup>, А.Н. ЛОМАНОВ<sup>2</sup>, В.С. НИКИТИН<sup>3</sup>, В.М. КОМАРОВ<sup>2</sup>,  
Э.И. СЕМЁНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «НПП «Тензосенсор», <sup>2</sup> ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А. Соловьёва»,

<sup>3</sup> ООО «НТЦ «Интрофизика», Ярославская обл., г. Рыбинск

E-mail: 707gsa@mail.ru

## Аннотация

Приведены результаты экспериментальных исследований характеристик цифрового оптического министика на основе упругодеформируемого полимерного элемента и оптической схемы с общим VCSEL-лазером. Описаны устройство и принцип действия оптического министика, методика и оборудование для исследования его функции преобразования.

**Ключевые слова:** оптический министик, управление робототехникой, коммутационное устройство, упругодеформируемый полимерный элемент, VCSEL-лазер, экспериментальное исследование.

Для управления объектами робототехники, летательными аппаратами и сложными манипуляторами необходимы точные, надёжные и компактные устройства ввода. Эффективным устройством ввода является министик – двухкоординатный миниджойстик. В отличие от обычных джойстиков, министик управляется не кистью руки, а пальцами. Скорость движения пальцев руки в 5–7 раз выше, чем – кисти, что позволяет намного быстрее формировать управляющие воздействия. А малые размеры министиков позволяют умещать их по многу на панели или ручке управления.

Большинство существующих министиков построены на основе резистивных чувствительных элементов. Недостатки такого подхода – невысокий ресурс министиков и постепенное изменение характеристик из-за истирания резистивного слоя.

ООО «НПП «Тензосенсор» совместно со специалистами ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А. Соловьёва» разработан оптический министик (рис. 1), отличающийся от ранее разработанных министиков [1–3] со светодиодами с широким углом излучения, функ-

ция преобразования которых имеет довольно высокую нелинейность [1]. В исследуемой новой конструкции министика в качестве источника излучения применён вертикально излучающий лазер (VCSEL-лазер) с рабочим диапазоном длин волн ( $850 \pm 15$ ) нм производства компании *Connector Optics*.

Как видно из рис. 2, оптический министик, который состоит из размещённого на плате 1 корпуса 2 и упругодеформируемого элемента 4, выполненного за одно целое с управляющей рукояткой 3. На плате 1 под упругодеформируемым элементом 4 расположены VCSEL-лазер 6 и не менее одного соединённого с микропроцессором приёмника излучения (фотодиод, фоторезистор) 7. Упругодеформируемый элемент 4 в виде пластины из эластичного полимерного материала с управляющей рукояткой 3, содержит светоотражающую или светопоглощающую поверхность 5, расположенную над источником света 6 и приёмниками излучения 7. Он опирается на элементы корпуса 2, прикреплённого к плате 1.

Поверхность 5 исследуемого образца министика выполнена (в роли светоотражающей) из белой матовой резины. Принцип его работы заключается в эффекте отражения света от этой поверхности, которая деформируется управляющей рукояткой со-

гласно направлению и величине нажатия.

Оптический министик по сравнению с традиционными министиками обладает многими преимуществами: простотой конструкции; технологичностью в массовом производстве; высокой надёжностью (из-за отсутствия механически контактирующих и деформируемых резистивных элементов); бесшумностью; пожаро- и взрывобезопасностью; травмобезопасностью; малым весом и многофункциональностью (возможностью перепрограммирования выполняемых функций [3]).

Целью данного экспериментального исследования являлось определение функции преобразования министика – зависимости полезного сигнала министика от величины отклонения управляющей рукоятки министика. Полезный сигнал министика представляет собой два числовых значения, которые соответствуют величинам отклонения рукоятки министика по координатам X и Y. Единицей измерения выходного сигнала являются отсчёты АЦП микроконтроллера министика, которые соответствуют отношению напряжений на приёмни-



Рис. 1. Внешний вид оптического министика

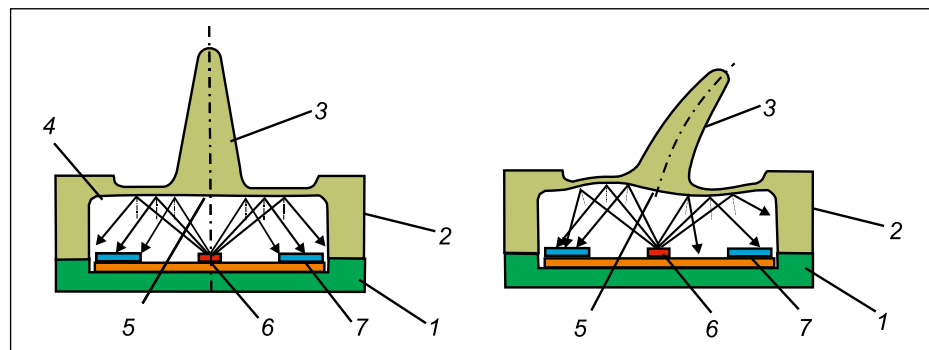


Рис. 2. Принципиальная схема оптического министика

Рис. 3. Испытательный стенд



ках излучения министика к опорному напряжению АЦП. Напряжение на приёмниках излучения определяется интенсивностью падающего на них отражённого света, которая зависит от величины отклонения управляющей рукоятки министика.

Методика эксперимента заключалась в регистрации показаний министика по осям  $X$  и  $Y$  в точках с заданными величиной отклонения рукоятки министика от центрального положения и направлением отклонения, которое задаётся углом поворота корпуса министика.

Для исследования зависимости сигналов министика от величины линейного отклонения рукоятки и угла поворота министика (функции преобразования) был разработан испытательный стенд для автоматизиро-

ванного исследования характеристик министиков. Стенд (рис. 3) содержит корпус 1, поворотное основание 4, на котором закрепляется министик 3, и элемент 2, который отклоняет рукоятку министика от центрального положения строго влево или вправо. Поворот основания и отклонение рукоятки производятся шаговыми двигателями. Для обеспечения точности позиционирования и выставления начальной позиции на валах двигателей установлены абсолютные цифровые энкодеры (датчики угла поворота), обеспечивающие погрешность установки угла поворота не более  $0,35^\circ$ .

Измерение показаний министиков проводилось в следующих условиях:

- пределы отклонения рукоятки министика от центра: от  $-5$  до  $+5$  мм, с шагом  $0,5$  мм;

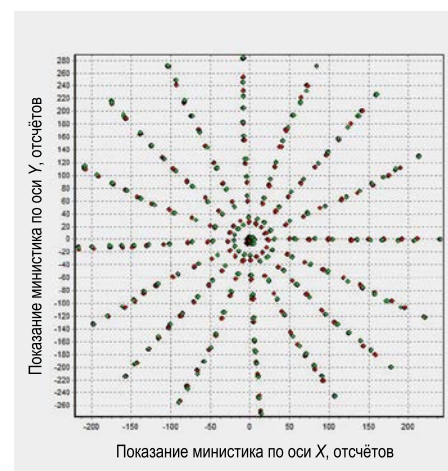


Рис. 4. Лучевая диаграмма полезного сигнала оптического министика

- направления отклонения: влево (от  $+5$  до  $-5$  мм), вправо (от  $-5$  до  $+5$  мм);

- угол поворота министика: от  $0^\circ$  до  $157,5^\circ$ , с шагом  $22,5^\circ$ ;

- число измерений в одной точке: 5, с последующим усреднением полученных значений.

По результатам тестирования программа стенда автоматически строит лучевую диаграмму. На лучевой диаграмме результаты измерений полезного сигнала министика представлены в виде точек с координатами по осям  $X$  и  $Y$ , соответствующими числовым значениям выходного сигнала министика. Результаты измерений, полученные при отклонении рукоятки вправо, представлены точками красного цвета, а влево – зелёным. (Лучевая диаграмма позволяет визуально оценивать качество выходного сигнала министика: амплитуду сигнала, точность, линейность, гистерезис.)

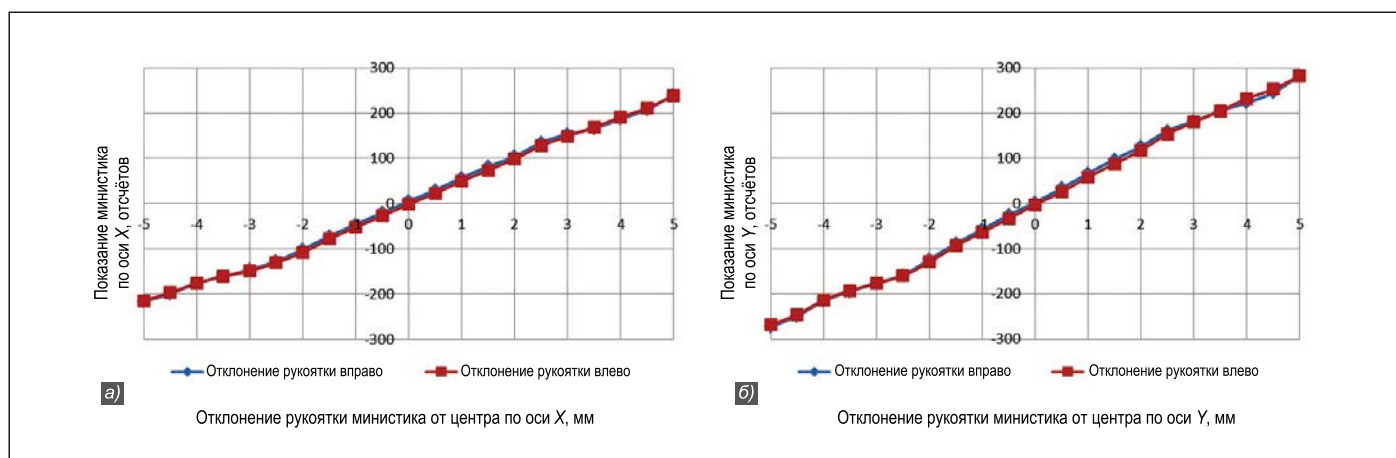
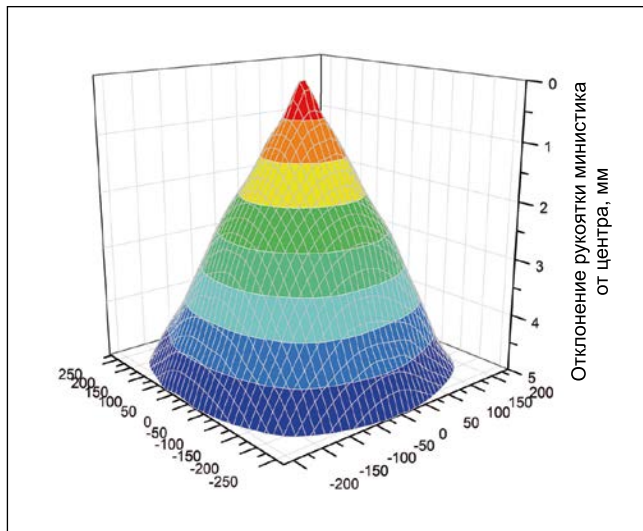


Рис. 5. Графики функции преобразования оптического министика по осям  $X$  (а) и  $Y$  (б) при углах поворота министика  $0^\circ$  и  $90^\circ$  соответственно

Параметры качества сигнала исследуемого министика

Параметр	Значение
Диапазон значений (амплитуда) по оси X	454
Диапазон значений (амплитуда) по оси Y	550
Разрешение по оси X, значений/мм	45,4
Разрешение по оси Y, значений/мм	55
Макс. разброс значений, %, менее	0,5
Макс. нелинейность по оси X, %	3,43
Макс. нелинейность по оси Y, %	3,41
Макс. гистерезис по оси X, %	1,05
Макс. гистерезис по оси Y, %	1,3

Рис. 6. Пример зависимости показаний оптического министика по осям X и Y от величины отклонения управляющей рукоятки (при заданном угле поворота министика)



Лучевая диаграмма исследованного министика приведена на рис. 4.

Результаты исследования функции преобразования министика по оси X (угол поворота  $0^\circ$ ) и по оси Y (угол поворота  $90^\circ$ ) представлены на рис. 5.

Качество полезного сигнала реального министика оценивалось по пяти показателям:

– амплитуда (диапазон значений функции преобразования министика при отклонении управляющей рукоятки министика в заданных пределах, от  $-5$  до  $+5$  мм);

– разрешение (количество значений выходного сигнала министика на единицу величины отклонения управляющей рукоятки министика);

– точность (разброс значений при определенном отклонении управляющей рукоятки министика);

– нелинейность (отклонение кривой функции преобразования исследуемого министика от прямой линии);

– гистерезис (различие значений выходного сигнала при одинаковой величине отклонения управляющей рукоятки министика, но разных (противоположных) направлениях его изменения).

Амплитуда  $\Delta X$  вычислялась по формуле

$$\Delta X = X_{max} - X_{min},$$

где  $X_{max}$  и  $X_{min}$  – максимальное и минимальное значения функции преобразования по данной оси.

Разрешение  $R$  вычислялось как

$$R = \Delta X / \Delta L,$$

где  $\Delta L$  – диапазон отклонений управляющей рукоятки, мм.

Оценка точности производилась по выражению

$$\delta = |\text{СКО} / \Delta X|,$$

где  $\delta$  – относительное отклонение показаний министика по данной оси, СКО – среднее квадратическое отклонение показаний министика по данной оси относительно среднего значения.

Для оценки нелинейности по методу наименьших квадратов строилась аппроксимирующая функция прямой линии вида  $X = k \cdot x + b$ , и нелинейность  $N_L$  вычислялась по формуле

$$N_L = |X - X_{\text{РАСЧ}}| / \Delta X,$$

где  $X$  и  $X_{\text{РАСЧ}}$  – фактическое и рассчитанное (с помощью аппроксимирующей функции) показания министика по данной оси в данной точке.

Гистерезис  $G$  оценивался по выражению

$$G = |X_{\text{ПР}} - X_{\text{Л}}| / \Delta X,$$

где  $X_{\text{ПР}}$  и  $X_{\text{Л}}$  – показания министика по данной оси в данной точке при перемещениях управляющей рукоятки вправо и влево.

Результаты расчёта указанных параметров качества сигнала исследуемого министика приведены в таблице.

По результатам измерений построены трёхмерные графики зависимости показаний министика по осям X и Y от величины отклонения управляющей рукоятки (рис. 6) при разных углах поворота министика.

## Выводы

– Оптическая схема министика на основе упругодеформируемого элемента и VCSEL-лазера позволяет создавать работоспособные и высокоэффективные устройства.

– Максимальный диапазон отклонения рукоятки министика составляет  $\pm 5,0$  мм, что укладывается в оптимальный диапазон амплитуд отклонения пальцев руки порядка  $12-20$  мм.

– Исследованный министик имеет достаточно высокие амплитуды выходного сигнала – до 550 значений по одной оси (а, например, джойстик «EasyPoint Joystick Position Sensor», на датчике Холла, имеет амплитуду выходного сигнала в 256 значений).

– Максимальное разрешение по оси X составило 55 значений/мм, а по оси Y – 45,4 значений/мм. Это озна-

чает, что чувствительность министика по оси  $X$  равна 0,02 мм и по оси  $Y$  – 0,025 мм.

– Функция преобразования исследованного оптического министика линейна и симметрична во всём диапазоне отклонения рукоятки: в пределах от  $-5$  до  $+5$  мм. Нелинейность не превышает 3,5 % для каждой из осей.

– Мёртвая зона министика не превышает 0,5 мм по всем осям.

– Максимальный гистерезис составляет 1,3 % от диапазона значений функции преобразования.

Таким образом, функция преобразования оптического министика соответствует основным требованиям, предъявляемым к средствам управления сложной робототехникой, манипуляторами и летательными аппаратами. Применение гибридных массивов VCSEL-лазеров и *pin*-фотодиодов позволяет создавать высокоточные цифровые министики.

Научно-прикладные исследования и экспериментальные разработки проводятся в данном направлении при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки РФ. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований и экспериментальных разработок – RFMEFI57914X0087.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубин С.А., Комаров В.М., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Семёнов Э.И. Экспериментальное исследование характеристик оптических министиков с общим излучателем // Вестник РГТУ им. П.А. Соловьёва. – 2015. – № 1.

2. Голубин С.А., Комаров В.М., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Семёнов Э.И. Исследование характеристик оптических министиков // Светотехника. – 2015. – № 6. – С. 17–20.

3. Голубин С.А., Никитин В.С., Белов Р.Б. Цифровые оптические министики для управления робототехническими комплексами // Электросвязь. – 2015. – № 11. – С. 68–69.

4. Никитин В.С., Белов Р.Б. Управлять без рычагов // Наука и жизнь. – 2012. – № 12.

5. Никитин В.С., Морозов П.П. Оптический джойстик / Заявка на изобретение № 2013112435 РФ, 2014. Бюл. № 27.

6. Никитин В.С. Способ коммутации электрических цепей и многофункциональный переключатель для его осуществ-

ления / Патент РФ № 2455678, 2012. Бюл. № 19.



**Голубин Сергей Александрович**, инженер. Окончил в 2013 г. РГТУ им. П.А.Соловьёва. Инженер-системотехник ООО «НПП Тензосенсор». Аспирант ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А. Соловьёва»



**Ломанов Алексей Николаевич**, кандидат техн. наук. Окончил в 2003 г. РГТУ им. П.А.Соловьёва. Декан факультета радиоэлектроники и информатики ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А. Соловьёва»



**Никитин Владимир Степанович**, кандидат техн. наук. Окончил в 1976 г. Тбилисское Высшее артиллерийское командное училище. Директор ООО «НТЦ «Интрофизика»



**Комаров Валерий Михайлович**, кандидат техн. наук, профессор. Окончила 1972 г. РГТУ им. П.А.Соловьёва. Зав. кафедрой «Вычислительные системы» ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А.Соловьёва»



**Семёнов Эрнст Иванович**, доктор техн. наук. Окончил в 1965 г. РГТУ им. П.А.Соловьёва. Профессор ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А.Соловьёва». Область научных интересов: кон-

троль над процессами получения тонких плёнок, автоматика, радиоэлектроника, микроэлектроника, вычислительная техника

## Проект «Клиника «Стоматология на Смоленке» (Москва)

Это один из первых для МГК «Световые Технологии» в специализированной нише «медицинского света» – освещение рабочего места стоматолога. Проект реализован совместно с компанией-дистрибьютором «Стоматорг» (один из лидеров стома-



тологического рынка России, реализующий полный ассортимент оборудования и расходных материалов для стоматологических клиник и зуботехнических лабораторий).

Необходимо было подобрать осветительный прибор, обеспечивающий бестеневое освещение, что принципиально важно для стоматолога, проводящего манипуляции в ротовой полости пациента и в прилегающей рабочей зоне. При этом необходима освещённость не ниже 4000 лк, что практически недостижимо при использовании обычных светильников. Высокий индекс цветопередачи ( $R_a$  90) должен позволять различать мельчайшие оттенки стоматологических материалов, а функция диммирования необходима для «приглушения» светильника на время смешивания пломбировочных материалов, чувствительных к свету. Кроме того, важен и современный дизайн.

В результате в стоматологических кабинетах Клиники установлен светильник «ДЕНТАЛ бестеневой», основными преимуществами которого являются: а) большая площадь равномерно освещаемой поверхности без образования теней; б) специальная конструкция рассеивателя, устойчивого к обработке дезинфицирующими средствами; в) общий индекс цветопередачи  $R_a > 90$ ; г) возможность диммирования светового потока.

Все требования к освещению были выполнены, и, кроме того, в применённом оборудовании есть функция диммирования с помощью пульта дистанционного управления, который позволяет плавно регулировать освещённость от 100 до 0 %, а также включать и выключать светильник. Эта дополнительная опция позволяет стоматологу управлять освещением, не покидая рабочее место.

[www.ltcompany.com/](http://www.ltcompany.com/)  
18.01.2017

# Применение светодиодов для освещения г. Москвы. Проблемы эксплуатации

А.В. СИБРИКОВ, А.И. КИРИЧОК

ООО «Светосервис ТМ», Москва  
E-mail: info@svs-tm.ru

## Аннотация

Рассматриваются проблемы, присущие большому количеству осветительных установок со светодиодами, и пути их решения.

**Ключевые слова:** светильники со светодиодами, система управления, архитектурно-художественное освещение, проектирование и эксплуатация, ограничители пускового тока.

## 1. Введение

О практическом применении светодиодов (СД) как источников света в установках наружного освещения (утилитарного, архитектурного, ландшафтного и для разного вида иллюминации) периодически появляются публикации на страницах специализированных научно-технических изданий и в изданиях, предназначенных для широкого круга читателей. Причём в последних вопросы применения СД носят, как правило, коммерческий характер, направленный на продвижение продукции конкретных производителей. В меньшей степени внимание уделяется, или вообще не уделяется, вопросам надёжности работы установок со светодиодами и проблемам их применения. Недостаточно описан опыт работы со светильниками с СД, системами и средствами их управления.

В журнале «Светотехника» ещё в 2012 году была опубликована статья [1], в которой рассматривались состояние и тенденции развития функционального освещения Москвы, подчёркивалась «необходимость взаимозавязанного применения всех видов и средств наружного освещения в создании гармоничных световых пространств города, что красной строкой обозначено в Концепции единой световогой среды Москвы, утверждённой постановлением Правительства Москвы от 11 ноября 2008 г. № 1037-ПП». Уже тогда авторы обращали внимание на то, «что долж-

на существовать определённая грань, за которой решения, направленные на достижение показателей энергоэффективности, не должны приниматься в ущерб качеству освещения».

На страницах журнала авторы считают необходимым поднять некоторые проблемные вопросы, связанные с выбором осветительных приборов с СД и их эксплуатацией в установках архитектурного и функционального освещения. При этом не ставится задача определения каких-либо постулатов по применению установок статического и динамического светодиодного освещения, но предполагается, что данная публикация послужит началом обмена опытом, особенно в области эксплуатации и способов решения возникающих проблем.

## 2. Развитие освещения города Москвы в период с 2011 г. по настоящее время

В 2011 г. были приняты постановления правительства Москвы № 98-ПП от 31.03.2011 г. «О развитии наружного освещения, архитектурно-художественной подсветки и праздничного светового оформления города Москвы на 2011 г.» и № 451-ПП от 27.09.2011 «Об утверждении Государственной программы города Москвы «Развитие коммунально-инженерной инфраструктуры», которые определили начало очередного этапа развития световогой среды города.

Реализация вышеуказанных программ осуществлялась поэтапно с нарастающим объёмом выделяемых финансовых средств. Ввод объектов в эксплуатацию осуществлялся от центра города к периферии.

За период 2011–2015 гг.:

– смонтированы установки архитектурного освещения на более чем 900 зданиях и сооружениях;

– установлены 74000 осветительных приборов с СД;

– установлены вновь или заменены свыше 500000 светильников функционального освещения (в том числе 20000 – с СД);

– смонтированы установки декоративной иллюминации на 80 улицах, бульварах и площадях.

## 2. Опыт

За относительно короткий период времени в Москве резко увеличилось количество работающих осветительных приборов, причём как отечественного, так и зарубежного производства. И эта тенденция будет продолжаться.

В такой ситуации, для дальнейшего понимания, как работать со светильниками с СД и определения системного подхода к вопросам проектирования, выбора оборудования, строительства и последующей эксплуатации, экономии бюджетных средств, важно проанализировать уже имеющийся опыт эксплуатации и на первом этапе хотя бы определить те практические вопросы, на которых стоит акцентировать внимание в дальнейшем.

Сегодня на рынке работает большое количество организаций, оказывающих услуги по проектированию, монтажу, наладке и эксплуатации осветительных установок, используя при этом оборудование с СД. В наружном, а особенно, в архитектурном, освещении большая часть проблем, появившихся на ранних стадиях применения светильников с СД, уже преодолена. Но остаются вопросы как организационного, так и технического характера, на которые сейчас необходимо обратить внимание. Особенно это актуально в связи с быстрым ростом количества светильников, использующих СД, и резким расширением их номенклатуры на рынке. Решение этих вопросов позволит перейти на более высокий уровень производства и применения осветительного оборудования.

## 3. Недостатки проектов

В основной своей массе проекты не учитывают процессы, протекающие в электроустановках, работающих со светильниками с СД, особенно при их большой концентрации, как, например, в архитектурном освещении. На многих объектах в мо-

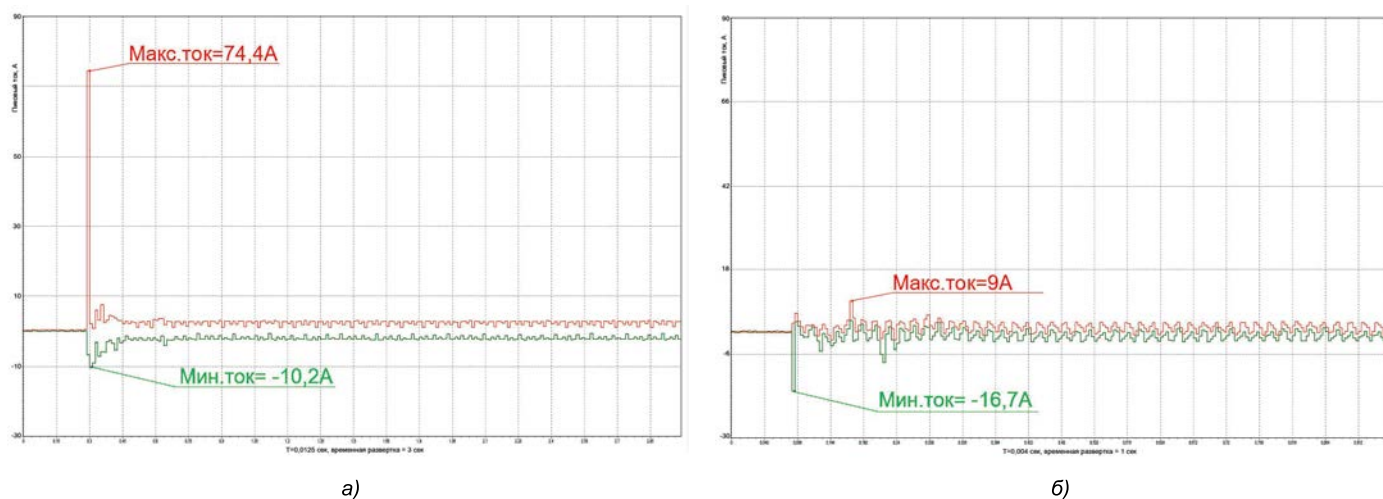


Рис. 1. Диаграмма тока установки архитектурного освещения здания, расположенного по адресу: ул. Садовая-Триумфальная, д. 4/10: а – без ОПТ; б – после установки ОПТ

мент пуска наблюдается отключение автоматических выключателей в щитах освещения, установленных как на вводе, так и на групповых линиях. В качестве примера можно привести осветительные установки на ул. Новый Арбат, ул. Тверская, Садовое кольцо, которые были построены в период с 2011 по 2015 г. В процессе эксплуатации объекты часто полностью, либо частично отключались, что вызывало большие нарекания. Например, в установках архитектурного освещения зданий ул. Новый Арбат, по данным эксплуатирующей организации, изменение коммутации потребовалось на большинстве объектов. Примерно такая же ситуация сложилась и на Садовом кольце, Тверской улице. По данным диспетчерской службы, за 2014–2015 г. зафиксировано 610 случаев срабатывания аппаратов защиты. При этом, согласно проектной документации, уставки автоматических выключателей были выбраны с учётом пусковых токов в соответствии с требованиями п. 6.1.33 ПУЭ.

С помощью лаборатории эксплуатирующей организации были проведены замеры пусковых токов действующих установок. Результаты измерений приведены на рис. 1 и 2. Измерения проводились по каждой фазе отдельно. На рис. 1 и 2 приведены диаграммы тока по фазе «А» осветительных установок, расположенных по адресам: г. Москва, ул. Садовая – Триумфальная, д. 4/10 и ул. Тверская, д. 30. Как видно из рис. 1, а, при среднем значении рабочего тока в 5А, начальный (пусковой) ток равен **74,4А!**

Другими словами, пусковой ток превышает номинальный в **15 раз!**

Аналогичная ситуация отображена и на рис. 2, а, где пусковой ток превышает номинальный в **6 раз.**

Согласно ГОСТ Р 50345–2010, автоматические выключатели делятся на следующие типы (классы) по току мгновенного расцепления:

- тип В: свыше  $3 \cdot I_n$  до  $5 \cdot I_n$  включительно,
- тип С: свыше  $5 \cdot I_n$  до  $10 \cdot I_n$  включительно,
- тип D: свыше  $10 \cdot I_n$  до  $20 \cdot I_n$  включительно.

Наиболее часто применяется тип С. Если во втором примере ещё можно не предпринимать какие-либо действия, то в первом примере возникает дилемма: либо заменить автоматы защиты на аппараты класса D, либо установить защиту большего номинала. В обоих случаях потребуются проведение обследования, измерение тока и приобретение новых аппаратов защиты. А это означает увеличение эксплуатационных затрат.

Насколько увеличиваются эти затраты, можно представить, если произвести элементарные расчёты. Так как в каждой установке архитектурного освещения, как правило, от 4 до 8 трёхфазных отходящих линий, а всего осветительных установок, использующих СД, – 900 штук, и для каждой из них следует произвести измерения и принять решение об изменении номинала защиты или класса по току, то потребуется произвести от 10800 до 21600 измерений и принять соответствующее количество решений по выбору и замене защитных автоматов.

Одним из самых простых способов борьбы с пусковыми токами, не требующим значительных финансовых издержек, может быть, например, установка ограничителей пусковых токов (ОПТ). Диаграммы пусковых токов после установки ограничителей представлены на рис. 1, б и 2, б. Внешний вид ограничителя ОПТЗ–16 приведён на рис. 3.

Производство ОПТЗ–16 налажено на ООО «МОСЗ ТМ» (Московский опытный завод телемеханики). Ограничители могут производиться как в трёх-, так и в однофазном исполнении. Номинальные токи могут быть 16 А или 32 А на одну фазу.

К сожалению, это и многое другое зачастую не учитывается при разработке проектной документации из-за низкой квалификации проектировщиков. Такие недостатки проектирования приходится исправлять в процессе эксплуатации. Работа над ними происходит в процессе ликвидации происходящих отключений осветительных установок и выездов оперативно-выездных бригад.

Для устранения этих недочётов, необходимо организовать разработку типовых решений и проведение регулярных семинаров для обучения специалистов проектных организаций, представителей заказчиков и экспертов.

#### 4. Проблемы и ошибки, связанные с выбором светильников

1. Выбор светильников с СД обширен и разнообразен. Предлагаются

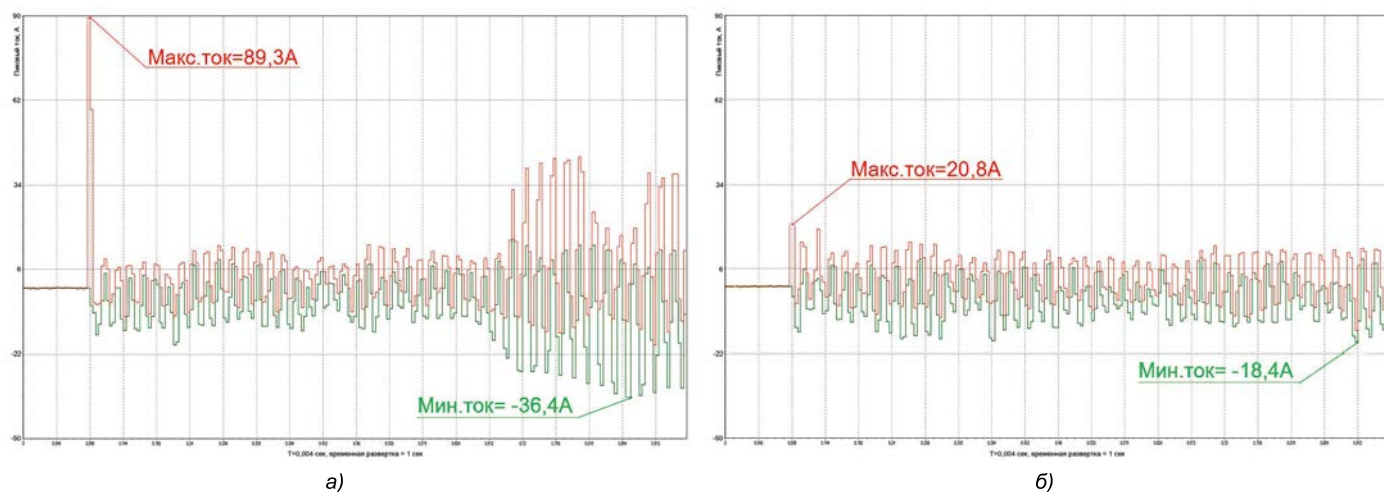


Рис. 2. Диаграмма тока установки архитектурного освещения здания, расположенного по адресу: ул. Тверская, д. 30: а – без ОПТ; б – после установки ОПТ



Рис. 3 – Внешний вид ограничителя ОПТЗ-16

светильники как отечественного производства, так и импортного, причём каждый производитель предоставляет характеристики оборудования по-своему. Основные из них, такие как мощность, напряжение питающей сети, тип кривой силы света и т.д., предоставляются всеми. А вот, например, коэффициент мощности, потребляемый ток (особенно в момент включения) не указывает практически никто, и в процессе проектирования эти характеристики не учитываются. Все ошибки проектирования и недоработки приходится исправлять в процессе эксплуатации. Но производителей и дилеров осветительного оборудования это не интересует.

2. Современные светильники делаются неразборными и, зачастую, неремонтопригодными в условиях эксплуатации. Поэтому при выходе их из строя и после окончания гарантийно-

го периода возникает необходимость приобретения новых светильников. А так как номенклатура уже установленных светильников достаточно велика, то для обеспечения бесперебойной работы осветительной установки нужно иметь в запасе очень много разнотипных светильников и сопутствующего оборудования.

Легко рассчитать, что, если согласно действующему регламенту и нормативам необходимо иметь в резерве 10 % от всего эксплуатируемого оборудования, то при наличии 74000 светильников на 900 зданиях и сооружениях, в запасе должно быть 7400 осветительных приборов разных номиналов!

3. Современные светильники, особенно работающие в динамическом освещении, – это сложные приборы, требующие квалифицированного подхода и индивидуаль-

ного программирования. Возникает необходимость обучения и наличия большого количества специалистов. А так как линейка продукции постоянно модифицируется, то этот процесс будет постоянным и неизбежным. К сожалению, эксплуатирующая организация не может повлиять на выбор светильников при проектировании. Но она должна делать объективный анализ на основе опыта эксплуатации. Такой анализ желательно провести по каждому типу осветительного прибора, и результаты донести до разработчиков.

## 5. Ошибки, связанные с работой системы управления

1. Часто проектные организации не в полной мере выполняют требования технических условий в части климатического исполнения компонентов систем управления. В последние пять лет таких систем на рынке предлагается большое количество. Эксплуатация введённых в строй установок архитектурного освещения показала, что при выборе системы управления проектировщики, а зачастую и строители, используют дешёвое, «одноразовое» решение. Например, оборудование, которое использует элементную базу блоков или модулей управления, не предназначенную для работы в условиях  $-40 \div +70$  °С. Это приводит к тому, что всё устройство не может выполнять своих функций в заданном диапазоне температур. Если речь идёт о зарубежных производителях, осо-



бенно китайских, то даже именитый бренд не обеспечивает гарантии работоспособности в задекларированном диапазоне. Покупается оборудование, которое может, к тому же, оказаться «серым», то есть использующим неконтролируемую элементную базу.

2. Приходится встречаться с тем, что производитель оборудования старается адаптировать разработанные ранее модули, не предназначенные для работы в системах освещения, под задачи освещения. В качестве примера можно привести устройства, предназначенные для работы в системах АИИСКУЭ, в которых используются алгоритмы работы, совершенно не подходящие для освещения.

3. Ещё одной проблемой является оборудование управления, использующее утилитарные протоколы обмена данными между исполнительными устройствами и пунктами управления. Для исключения зависимости от одного поставщика, ещё в 2013 году была разработана и сейчас успешно эксплуатируется подрядной организацией комплексная система управления архитектурно-художественным освещением (КАСУАО) Москвы. Она построена с использованием открытых протоколов передачи данных, утверждённого перечня сигналов и согласованных экспертизой типовых решений. Строительные организации часто игнорируют требование стыковки с этой системой, указанное в технических условиях, что приводит к потере контроля, управляемости и информации эксплуатирующими организациями и заказчиком, а далее — к увеличению расходов. Со временем ставится вопрос о замене такого оборудования управления, даже если оно не выработало весь свой ресурс, а это дополнительные траты бюджетных средств.

## 6. Предложения

Исходя из описанных проблем и ошибок в выборе светильников и систем управления, и во избежание проблем и дополнительных расходов в дальнейшей работе, авторы предлагают:

- Эксплуатирующей организации совместно с заказчиком провести анализ работы систем управления за последние пять лет.
- Рекомендовать производителям оборудования или строительно-мон-

тажным организациям проводить испытания осветительного оборудования в комплексе с системой управления в аккредитованной лаборатории, имеющей положительную репутацию, например, в ООО «ВНИСИ».

• На основании отчёта и проведённых испытаний заказчик работ должен сделать ограничительный перечень допущенных к работе систем управления освещением и предоставлять его проектным организациям вместе с техническими условиями.

## 7. Заключение

Успех реализации проектов по утилитарному и архитектурному освещению тесно связан не только с количеством выделяемых на него средств, но, в первую очередь, с тесным взаимодействием в процессе его реализации проектной, монтажной и эксплуатационной организаций между собой и с производителями и поставщиками осветительного оборудования и систем управления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букатов А. С., Киричок А. И. Функциональное энергоэффективное освещение наружных пространств столицы: состояние и тенденции развития // Светотехника. — 2012. — № 6 — С. 38—41.



**Сибриков Александр Вадимович.** Директор ООО «Светосервис ТМ». Окончил Ленинградское высшее военное инженерное училище связи им. Ленсовета по специальности «Автоматизированные системы управления» (1989 г.).



**Киричок Андрей Иванович.** Заместитель директора по развитию ООО «Светосервис ТМ». Окончил Ленинградское высшее военное инженерное училище связи им. Ленсовета по специальности «автоматизированные системы управления» (1989 г.).

## УФ диод с потоком излучения 60 мВт – новая веха в развитии дезинфекции и стерилизации

Работающая в области здоровья и гигиены компания RayVio Corp. начала серийное производство УФ диода серии «XP» с потоком излучения 60 мВт. С его появлением



применение УФ диодов в медицине и здравоохранении стало реальностью.

УФ диоды серии «XP» компании RayVio позволяют безопасно и эффективно обеспечивать дезинфекцию проточной воды, стерилизацию целых помещений и обеззараживание медицинских инструментов и товаров для дома без использования хрупких и опасных ртутных ламп. Они могут безопасно и эффективно обезвреживать даже такие супербактерии, как метициллин-резистивный золотистый стафилококк (MR3C).

Поток УФ излучения диодов серии «XP» компании RayVio, наконец, сделал возможным безопасно, эффективно и на большой срок решать ряд крупных проблем типа дезинфекции проточной воды.

«Первый в мире бытовой стерилизатор (sterilizing pod) »Ellie» – лишь один из при-



меров того, как мало времени нужно нашим новым УФ диодам для улучшения жизни, – сказал технический директор RayVio Даг Коллинз. – «Ellie» может стерилизовать детские бутылочки и поверхности сосок-пустышек, обеззараживать воду, ключи и т.д. для защиты детей от микробов».

www.led-professional.com  
09.01.2017

# О возможности применения изображений с расширенным динамическим диапазоном для анализа проектов освещения<sup>1</sup>

Х. ЦАЙ, М.И. САЙФАН

Университет шт. Канзас, г. Лоренс, США  
E-mail: hycail@ku.edu

## Аннотация

В рамках этой работы был проведён опрос респондентов, позволяющий оценить полезность применения на стадии проектирования освещения метода компьютерного анализа создаваемых фотокамерой изображений. В этом методе визуализации фотографии с расширенным динамическим диапазоном (*HDR*) используются для регистрации миллионов значений яркости в пределах внутреннего или наружного пространства с последующим построением в *MATLAB HDR*-карт распределений яркости и градиента яркости для последующей оценки световой среды. Был проведён онлайн опрос 40 проектировщиков освещения, не имеющих опыта использования *HDR*-фотографии. Их анонимные ответы были собраны в режиме онлайн и проанализированы. Было установлено, что опытные проектировщики освещения, много лет работающие в этой области, не склонны полагаться на информацию, содержащуюся в *HDR*-изображениях. Однако метод *HDR*-визуализации может оказаться полезным для прошедших обучение новичков, помогая им оценить световую среду при проектировании осветительных установок.

**Ключевые слова:** проектирование освещения, визуализация, фотокамера, *MATLAB*, яркость, вопросник.

## 1. Введение

Проектирование освещения — это одновременно и искусство, и наука. Проектировщики оценивают освещаемое пространство в свете своих собственных креативных представлений, а затем ищут такие светильники, которые обеспечивают достаточный уровень освещения, обладают высокой энергоэффективностью и при-

влекательно выглядят. Проектировщики обычно соблюдают требования нормативных документов и практических рекомендаций по проектированию Международной комиссии по освещению (МКО), Общества инженеров-светотехников (*SSL*) Аккредитованного института инженеров по обслуживанию зданий (*CIBSE*), Международной ассоциации светодизайнеров (*IALD*) и местных органов власти. Эти руководства помогают проектировщикам использовать светотехнические эффекты и понять, как сделать проект благоприятным для людей. С другой стороны, проект освещения всегда является субъективным и из-за различий в точках зрения проектировщиков освещения часто может оказаться противоречивым и в то же время креативным. Проектировщики, специалисты-светотехники и инженеры часто создают необычную световую среду, которая, по их мнению, великолепно выглядит. Проект может удовлетворять нормативным требованиям и в то же время не соответствовать основам светодизайна и не иметь технических возможностей реализации заложенных в нём идей. Например, некоторые элементы проектов освещения включают в себя иерархию выделяемых деталей, блёскости и отражений, контрастности/градиента освещения, использования естественного освещения и полярности освещения (*lighting polarity*) [1]. Эти принципы и концепции используются при проектировании освещения наряду со зрительным восприятием световой среды людьми и, таким образом, тесно связаны с пространственным распределением яркости освещаемого пространства.

Для оценки проекта освещения с точки зрения зрительного восприятия следует произвести измерение пространственного и временного распределений связанных с яркостью параметров (например, яркости объек-

та, яркости фона, яркости адаптации, яркости окружающей среды, яркостного контраста, градиента яркости). В то же время, в основе типичных проектов освещения лежит, главным образом, требуемое количество света. В нормативных документах доминируют связанные с освещённостью параметры (например, горизонтальная освещённость, вертикальная освещённость, освещённость рабочей зоны, коэффициент естественной освещённости, автономность естественного освещения). Так как глаз человека воспринимает не освещённость, а яркость, то основанная на освещённости метрика не может использоваться для интерпретации проектов освещения с точки зрения зрительного восприятия. Опытные специалисты-светотехники за годы работы накопили достаточное для решения этой проблемы количество эмпирических знаний. Начинающие проектировщики и студенты не имеют таких эмпирических знаний и опыта. Поэтому в своей деятельности они часто используют разные методы проектирования (например, физическое и компьютерное моделирование), которые помогают им в их повседневной практике.

*HDR*-фотография может стать ещё одним сочетающимся со зрительным восприятием пространства людьми инструментом проектирования, способным помочь проектировщику измерить значения яркости внутреннего или наружного пространства в пределах широкого поля зрения [1–3]. Для получения *HDR*-фотографий используют недорогие цифровые фотокамеры, которые часто снабжают широкоугольными объективами для получения имеющих узкий динамический диапазон (*LDR*) фотографий, снятых с несколькими значениями выдержки, что позволяет охватить расширенный динамический диапазон освещения. Затем при помощи программ объединения данных, таких как *Photosphere and Radiance*, эти *LDR*-фотографии преобразуют в «сырое» *HDR*-изображение, включающее в себя пространственное распределение яркости сцены. Эти сырые *HDR*-изображения нуждаются в калибровке чувствительности, фотометрической калибровке и фотограмметрической калибровке. *HDR*-фотография позволяет на уровне пикселей измерять яркости точек всей освещаемой сцены.

<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

После калибровки *HDR*-фотография позволяет за одно измерение зарегистрировать на уровне пикселей миллионы значений яркости в пределах поля зрения объектива фотокамеры. Было показано, что *HDR*-фотография позволяет охватить большой динамический диапазон освещения, включающий и самые тёмные, и самые светлые участки сцены [2, 4]. Установлено, что в случае *HDR*-фотографии погрешность измерения серых поверхностей не превышает 5 %, а погрешность измерения цветных поверхностей составляет примерно 10 %. *HDR*-фотография может дополнить данные, получаемые при помощи измерительных приборов, и предоставить больше информации об окружающей среде, которую может видеть глаз человека (например, об её цвете, геометрии, текстуре и т.д.).

С другой стороны, современная светотехническая практика уже перешла от оценки падающего на плоскость света (то есть освещённости) к оценке света, достигающего глаз людей (то есть яркости) [5]. В этом случае рекомендованные уровни освещения будут лучше соответствовать требованиям, обусловленным зрением людей и обеспечением необходимой видимости. [1, 5–7]. Для оценки зрительного процесса в реальном пространстве применительно к разным проектам освещения с учётом их индивидуальных особенностей должны использоваться соответствующие методы [7]. *HDR*-фотография может стать ещё одним сочетающимся со зрительным восприятием пространства людьми инструментом проектирования. Реальные значения яркости могут быть получены на уровне пикселей и проанализированы на основе *HDR*-изображений яркости внутреннего или наружного пространства, полученных применительно к точке расположения наблюдающего это пространство человека. Однако ещё не доказано, что основанная на *HDR*-изображениях компьютерная оценка освещения может оказаться полезной для проектировщиков.

Поэтому авторы провели обзор литературы для выявления сообщений о случаях, когда *HDR*-изображения оказались полезными для практикующих проектировщиков освещения при анализе проектов освещения. Многие работающие в области освещения исследователи и практики ис-

пользовали *HDR*-фотографию для измерения яркости в разных условиях, включая освещаемые дневным светом сцены [3, 8–15]. Однако до 2014 г. редко встречались публикации, содержащие рекомендации по практическому использованию проектировщиками освещения *HDR*-фотографии и дифференциальных (*derivative*) методов компьютерной визуализации. В настоящий момент большинство проектировщиков освещения незнакомы ни с *HDR*-фотографией, ни с дифференциальными методами анализа освещения, которые требуют знаний как в области фотографии, так и в области компьютерных формирования изображений и расчётов.

Чтобы помочь проектировщикам освещения, в 2014 г. авторы предложили компьютерный графоаналитический метод, который был реализован в *MATLAB* (язык программирования для визуализации и анализа данных) и позволял извлекать и обрабатывать данные, содержащиеся в *HDR*-изображениях, для улучшения анализа освещения [1]. Имеются сообщения о нескольких исследованиях в области внутреннего освещения, в которых использовали этот метод, позволяющий проводить анализ освещения при помощи компьютера и фотокамеры [1]. Хотя это ещё не подтверждено проектировщиками освещения, но похоже, что *HDR*-изображение проектируемого освещения может помочь обеспечить зримое отображение параметров освещения, имеющих важное значение для зрительного восприятия, а это может облегчить как понимание того, какой тип освещения требуется в рассматриваемом случае, так и оценку качества освещения, например, оценку блёскости [1, 16].

*HDR*-визуализация всё ещё не принята проектировщиками освещения

и не используется в их повседневной практике. Может ли метод *HDR*-визуализации стать средством проектирования, которое проектировщики освещения будут применять для облегчения своей работы? Сочтут ли практикующие проектировщики освещения с многолетним опытом работы *HDR*-отображения яркости ценным подспорьем в своей работе? Для ответа на эти вопросы необходимо оценить эффективность применения разработанного на текущий момент метода *HDR*-визуализации при проектировании высококачественной световой среды. Поэтому авторы провели анкетное обследование для выяснения того, может ли оценка *HDR*-изображений проектируемых сцен улучшить качество анализа проектов освещения и помочь проектировщикам в их работе.

## 2. Анкетное обследование

Анкета состояла из четырёх допускающих только один ответ вопросов и сопутствующих им *HDR*-изображений освещённой электрическим светом не имеющей окон светотехнической лаборатории (рис. 1, а) и освещённого дневным светом холла со стеклянной стеной (рис. 1, б). В лаборатории установлено много потолочных светильников, которые используются при проведении занятий по светотехнике. Измерения проводили 5 апреля в 16:20. Освещённый дневным светом холл треугольной формы располагается на втором этаже исследовательского корпуса. Он имеет большую (от пола до потолка) стеклянную стену, выходящую на восток-юго-восток и не закрытую никакими затеняющими устройствами. Измерения в холле проводили в солнечный день 9 июля в 8:00.

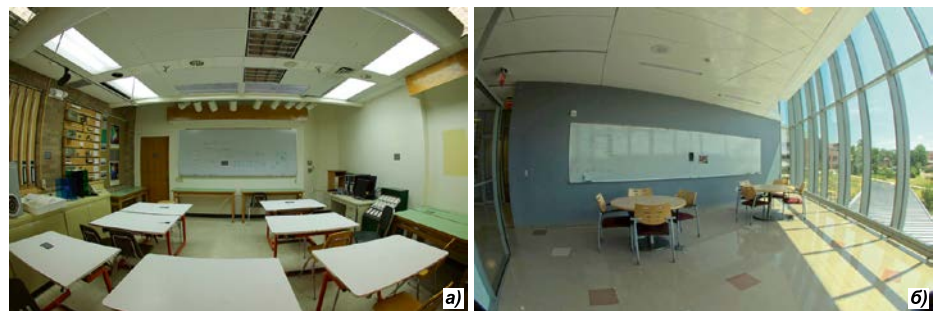


Рис. 1. Два варианта условий проведения измерений: а – светотехническая лаборатория; б – холл исследовательского корпуса со стеклянной стеной, выходящей на восток-юго-восток ([3, Fig. 2])

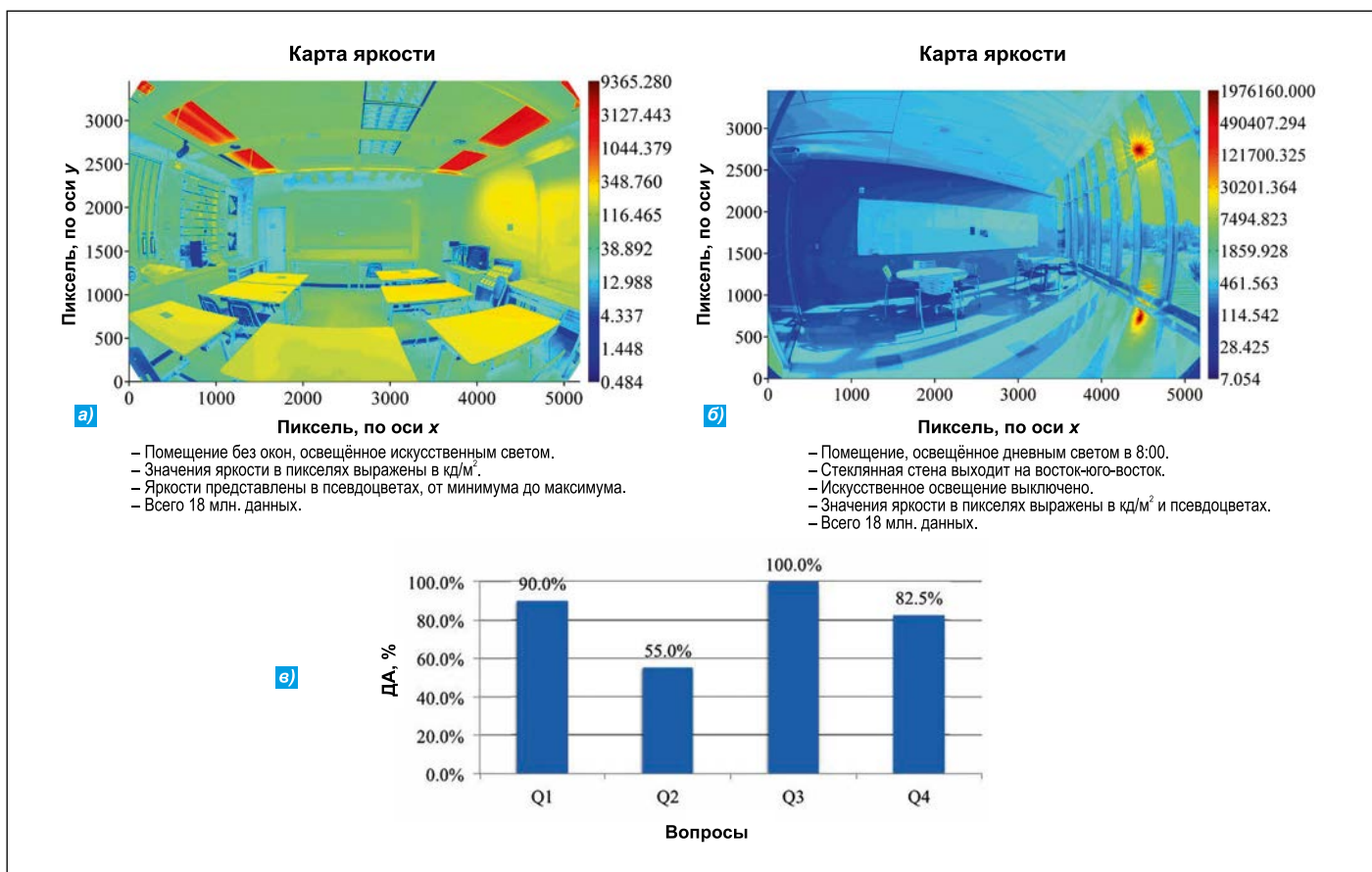


Рис. 2. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и 6 студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 2-мерным картам яркости с большим динамическим диапазоном: а – представленная в псевдоцветах карта яркости в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – представленная в псевдоцветах карта яркости в случае холла, освещённого дневным светом; в – сводка положительных ответов на вопросы о картах яркости

Прилагавшиеся к анкете *HDR*-изображения приведены на рис. 2–7 и включают в себя 2-мерные карты яркости, 2-мерные карты величины градиента яркости, 2-мерные карты направления градиента яркости и 3-мерные карты яркости. Алгоритм и технические подробности того, как эти *HDR*-изображения были сформированы в *Radiance* и построены при помощи кода *MatLab*, содержатся в [3]. Предметами анкетного обследования были зрительное восприятие и оценка этих *HDR*-изображений без раскрытия технических подробностей того, как они были получены и построены с использованием метода, позволяющего проводить анализ освещения при помощи компьютера и фотокамеры. При этом авторы стремились к тому, чтобы как можно больше проектировщиков освещения, которые часто мало знакомы с программированием и компьютерным формированием изображений и расчётами, приняли участие в анкетировании, на которое было отведено довольно небольшое время. Факти-

чески, зрительная оценка *HDR*-изображений является последним этапом реализованного в *MATLAB* компьютерного графоаналитического метода [1]. Для лучшего понимания как самих представленных на рис. 2–7 изображений, так и того, как они были сформированы и построены, читателям рекомендуется ознакомиться с предыдущей публикацией авторов, посвящённой компьютерному графоаналитическому методу [1].

*HDR*-карты всех типов сопровождалась одними и теми же четырьмя допускающими только один ответ («Да» или «Нет») вопросами, которые приведены ниже. В этом обследовании использовались исключительно допускающие только один ответ вопросы, так как на них легко отвечать (по сравнению с допускающими разные ответы вопросами), и ответы на них не занимают много времени, что способствует увеличению доли ответивших на вопросы респондентов, в первую очередь, работающих в области освещения специалистов-светотехников.

**Вопрос 1.** Полезны ли эти *HDR*-изображения при проведении оценок после заселения помещения (*post-occupancy evaluation*) или при его модернизации?

**Вопрос 2.** Эти *HDR*-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, или нет?

**Вопрос 3.** Если представленные изображения представляют собой сформированные компьютером отображения проектируемых сцен, то будут ли они полезными на стадии проектирования освещения?

**Вопрос 4.** Хотели бы Вы использовать подобные *HDR*-изображения в своей практике?

Анкета была сформирована в *Google Docs*, и всем участникам была направлена ссылка на содержащий её сайт. Участие в этом интернет-опросе было анонимным. Анкета была направлена специалистам-светотехникам, которые участвовали в проводившейся в Монреале, Канада, конференции Международной ассоциации светодизайнеров (*IALD*) «*Enlighten Americas 2013*», а также другим американским

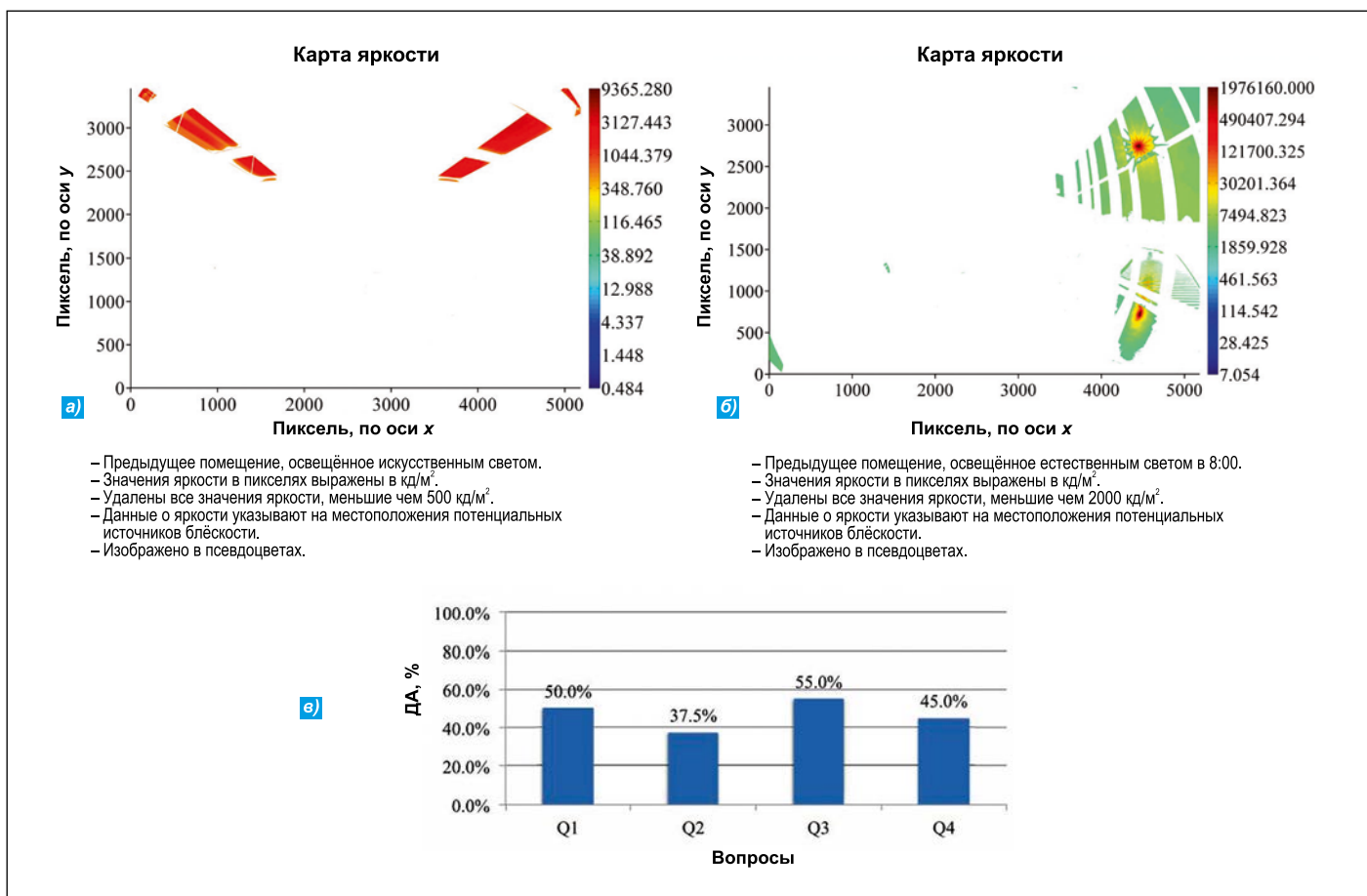


Рис. 3. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и б студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 2-мерным картам яркости с отсечкой по минимальному значению яркости: а – карта яркости с нижним порогом  $500 \text{ кд/м}^2$  в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – карта яркости с нижним порогом  $2000 \text{ кд/м}^2$  в случае холла, освещённого дневным светом; в – сводка положительных ответов на вопросы о картах яркости с отсечкой по минимальному значению яркости

проектировщикам освещения и дизайнерам по интерьерам. Эти практикующие специалисты-светотехники обладают разным, от начального до очень большого, опытом работы в области проектирования освещения, но практически не имеют опыта применения методов HDR-визуализации. На вопросы ответили 40 специалистов-светотехников<sup>2</sup>. Эти ответы были собраны онлайн и проанализированы для определения соотношения положительных («Да») и отрицательных («Нет») ответов на поставленные вопросы. Результаты обследования представлены на рис. 2–7, а ниже приведены некоторые подробности.

На рис. 2 приведены представленные в псевдоцветах карты яркости двух пространств и сводка результатов опроса 40 проектировщиков ос-

вещения. Каждая карта содержит на уровне пикселей 18 млн значений яркости. Из этих двух HDR-изображений следует, что в освещённом дневным светом холле со стеклянной стеной динамический диапазон яркости ( $7,054\text{--}1976160,000 \text{ кд/м}^2$ ) был гораздо шире, чем в освещённой электрическим светом не имеющей окон лаборатории ( $0,484\text{--}9365,280 \text{ кд/м}^2$ ). Карты яркости показывают, что оба эти пространства освещены достаточно хорошо, однако в них могут иметь место проблемы с блёскотью, создаваемой прямым солнечным светом, освещённым окном или электрическими источниками света. Результаты опроса говорят о том, что после того, как 40 проектировщиков освещения посмотрели на карты яркости, 90 % из них решили, что HDR-карты яркости были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации, 55 % считают, что эти изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, 100 % согла-

сились с тем, что такие изображения будут полезными на стадии проектирования освещения, и 82,5 % хотели бы использовать подобные HDR-изображения в своей практике.

Рис. 3 выявил представляющие потенциальную опасность участки световой среды, идентифицируемые по местоположению соответствующих им пикселей, яркости которых превышают  $500 \text{ кд/м}^2$  в случае освещённой электрическим светом не имеющей окон лаборатории и  $2000 \text{ кд/м}^2$  в случае освещённого дневным светом холла. Эти пороговые значения яркости были выбраны на основе результатов исследований дисконфортной блёскости и адаптации глаза к световой среде [13, 17, 18]. В освещённом дневным светом холле источниками блёскости оказались поверхности, яркости которых в четыре раза превышали среднюю яркость освещаемой зоны, то есть примерно  $2000 \text{ кд/м}^2$ . Кроме того, на рис. 3 показано, какая часть из 40 проектировщиков освещения положительно ответили на

<sup>2</sup> Помимо 40 проектировщиков освещения, авторы опросили ещё и 6 студентов, о чём упоминают при обсуждении полученных результатов (раздел 4). – Прим. пер.

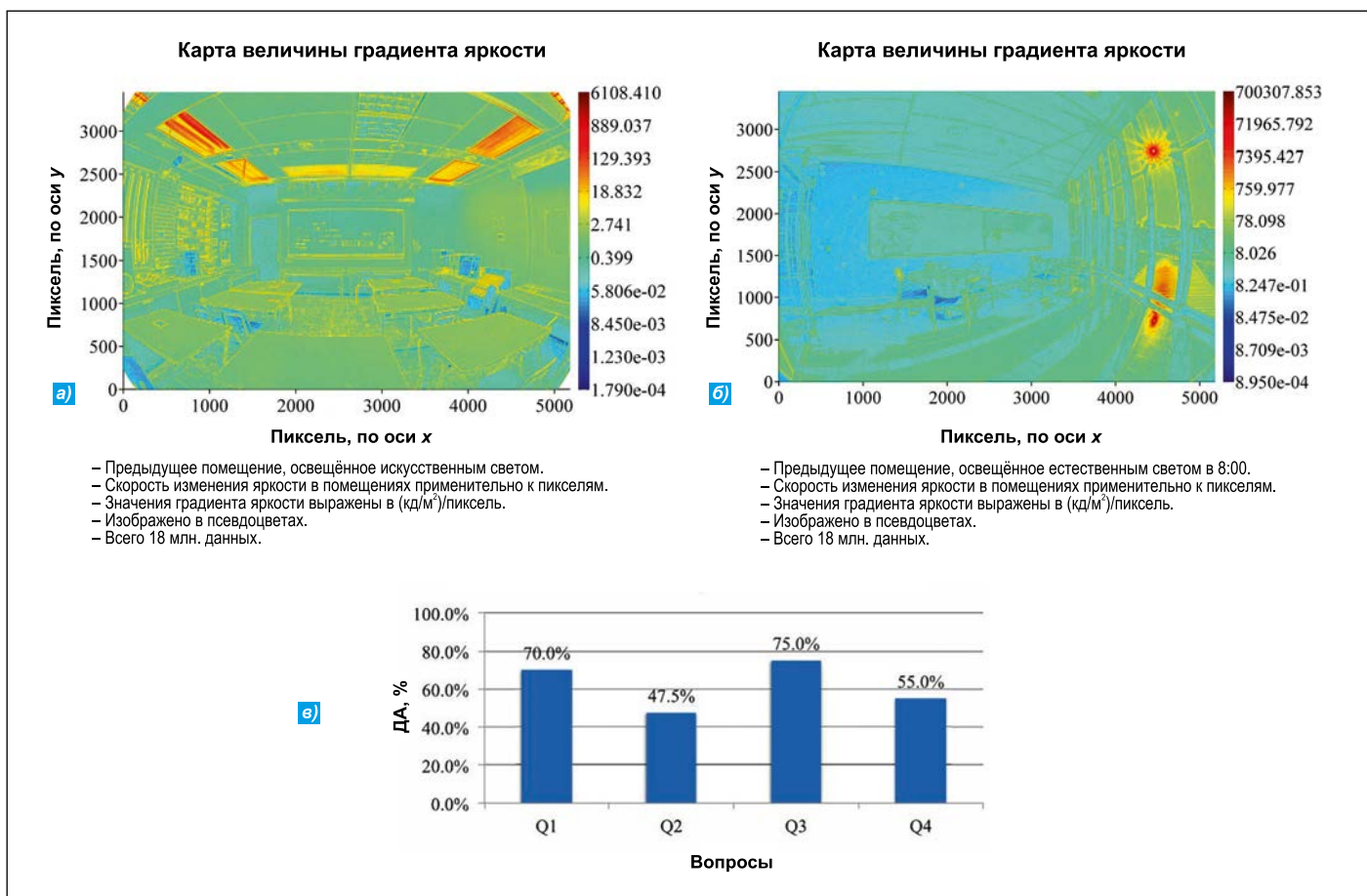


Рис. 4. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и 6 студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 2-мерным картам величины градиента яркости: а – карта величины градиента яркости в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – карта величины градиента яркости в случае холла, освещённого дневным светом; в – сводка положительных ответов на вопросы о картах величины градиента яркости

заданные вопросы. Из рис. 3, в следует, что, посмотрев на эти карты яркости с отсечкой по минимальному значению яркости, 50 % проектировщиков освещения решили, что такие HDR-изображения были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации, только 37,5 % считают, что эти HDR-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, 55 % согласились с тем, что эти изображения будут полезными на стадии проектирования освещения, и 45 % хотели бы использовать подобные HDR-карты с отсечкой по минимальному значению яркости в своей практике.

На рис. 4 приведены 2-мерные карты величины градиента яркости. Градиентом яркости  $G$  называют наибольшую скорость (величину) и полярность пространственного изменения яркости в пределах большой поверхности или всего поля зрения [3]. Другими словами, градиент яркости говорит о том, насколько быст-

ро и в каком направлении изменяется яркость. На рис. 4 величина яркости представлена в широком диапазоне, от почти 0 до 6108 (кд/м<sup>2</sup>)/пиксель в случае не имеющей окон лаборатории и до 700307 (кд/м<sup>2</sup>)/пиксель в случае холла, освещаемого дневным светом рано утром. Согласно рис. 4, яркость медленно, с меньшей, чем 500 (кд/м<sup>2</sup>)/пиксель, скоростью изменяется вдоль стен, пола, потолка и мебели. Самое быстрое изменение имеет место на краях встроенных световых полос (трофферов), где градиент яркости достигает максимума в 6108 (кд/м<sup>2</sup>)/пиксель. В освещённом дневным светом холле очень быстро изменяются яркости окна и освещаемого солнцем пола. Наибольший градиент яркости наблюдался ранним утром, когда солнце попадало в объектив фотокамеры. В удалённых от окна зонах освещение становится равномерным. Расположенные в глубине помещения поверхности освещены очень равномерно. Согласно рис. 4, в, после ознакомления с картами распределения

величины градиента яркости, 70 % проектировщиков освещения решили, что такие HDR-изображения были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации, только 47,5 % считают, что эти HDR-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, 75 % согласились с тем, что эти изображения будут полезными на стадии проектирования освещения, и 55 % хотели бы использовать подобные карты величины градиента яркости в своей практике.

Быстрое изменение яркости приводит к чрезмерному контрасту, который, в свою очередь, может привести к появлению дискомфортной блёскости. На рис. 5 приведены наибольшие скорости изменения яркости, выявленные с использованием отсечки по минимальному значению величины градиента яркости (500 (кд/м<sup>2</sup>)/пиксель в случае лаборатории и 2000 (кд/м<sup>2</sup>)/пиксель в случае освещённого дневным светом холла), что согласуется с отсечкой по минимальному

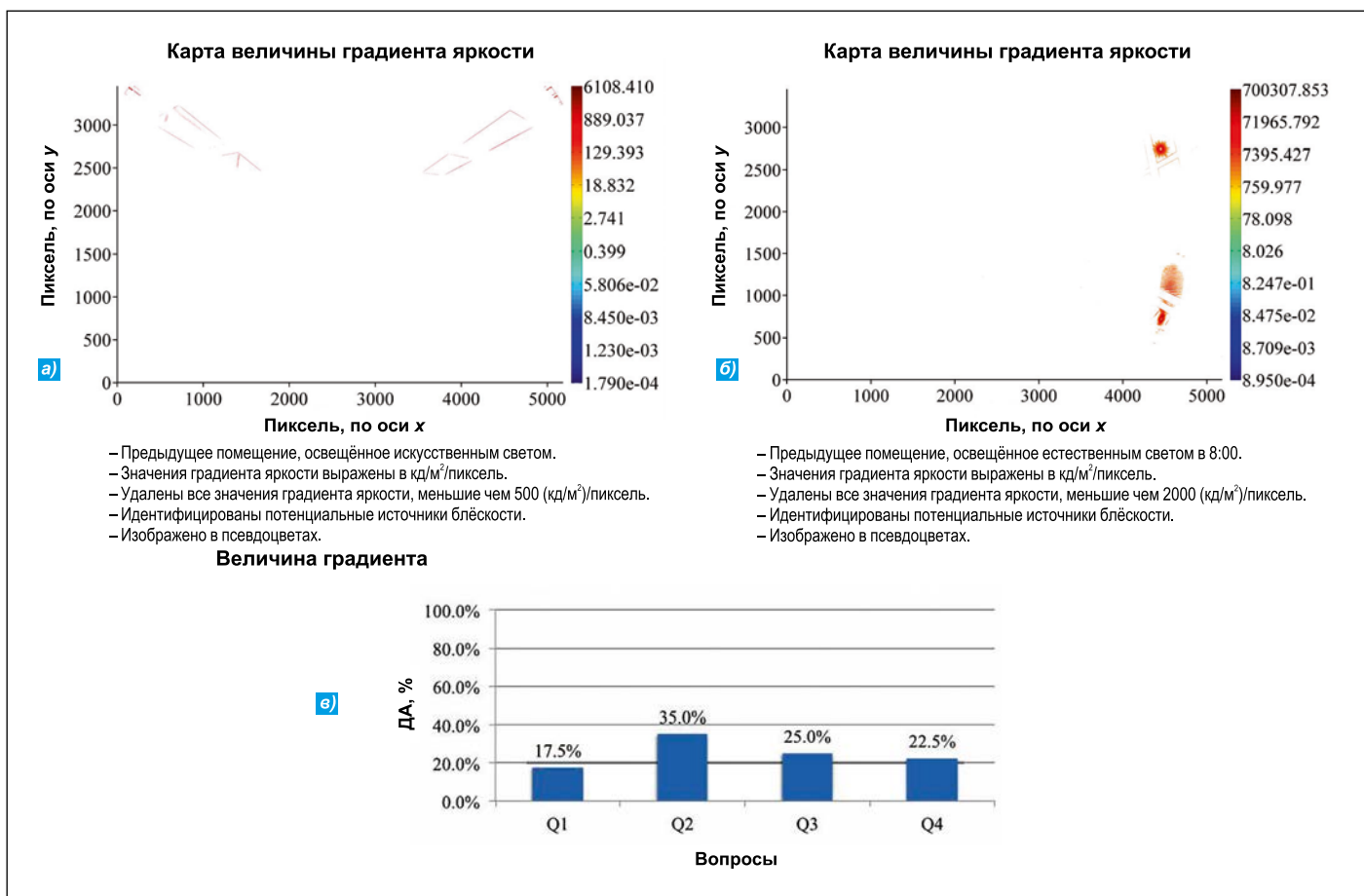


Рис. 5. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и б студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 2-мерным картам величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости: а – карта величины градиента яркости с нижним порогом  $500 (\text{кд/м}^2)/\text{пиксель}$  в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – карта величины градиента яркости с нижним порогом  $2000 (\text{кд/м}^2)/\text{пиксель}$  в случае холла, освещённого дневным светом; в – сводка положительных ответов на вопросы о картах величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости

значению яркости. Другие, более высокие пороговые значения можно использовать для идентификации опасного освещения в более суровых областях применения. Согласно рис. 5, в, после ознакомления с картами величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости, только 17,5 % проектировщиков освещения решили, что такие HDR-изображения были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации, 35 % считают, что эти HDR-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, 25 % согласились с тем, что эти изображения будут полезными при компьютерной разработке новых проектов освещения, и только 22,5 % хотели бы использовать подобные HDR-изображения в своей практике. Так что карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости оказались не столь полезными для опро-

шенных проектировщиков, как карты яркости, карты яркости с отсечкой по минимальному значению яркости или карты величины градиента яркости без отсечки.

На рис. 6 приведена направленность градиента яркости, характеризуемая углом  $\theta$ , в направлении которого яркость изменяется от пикселя к пикселю. Угол  $\theta$  лежит в пределах от  $-180$  до  $180^\circ$  и отсчитывается против часовой стрелки от оси  $x$ , так что угол  $0^\circ$  указывает вправо (по направлению оси  $x$ ),  $90^\circ$  – вверх,  $180/-180^\circ$  – влево и  $-90^\circ$  – вниз. Данные на рис. 6 представлены с использованием цветовой шкалы. Тёплые цвета говорят о том, что градиент направлен вверх, а холодные цвета – что вниз. Согласно рис. 6, в, после ознакомления с картами направленности градиента яркости, 45 % проектировщиков освещения решили, что такие HDR-изображения были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации,

65 % считают, что эти HDR-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, 40 % согласились с тем, что эти изображения будут полезными при компьютерной разработке новых проектов освещения, но только 35 % хотели бы использовать подобные HDR-изображения в своей практике. Эти результаты отражают сложность как восприятия градиента яркости в качестве нового параметра, который было предложено использовать при проектировании освещения [3], так и его измерения проектировщиками освещения, не обладающими знаниями в области формирования HDR-изображений и навыками работы с языками программирования.

Обсуждавшиеся выше карты величины и направления градиента яркости являются 2-мерными. В то же время, их можно объединить в 3-мерное изображение (рис. 7). К сожалению, на таких 3-мерных графиках расположенные на переднем плане точ-

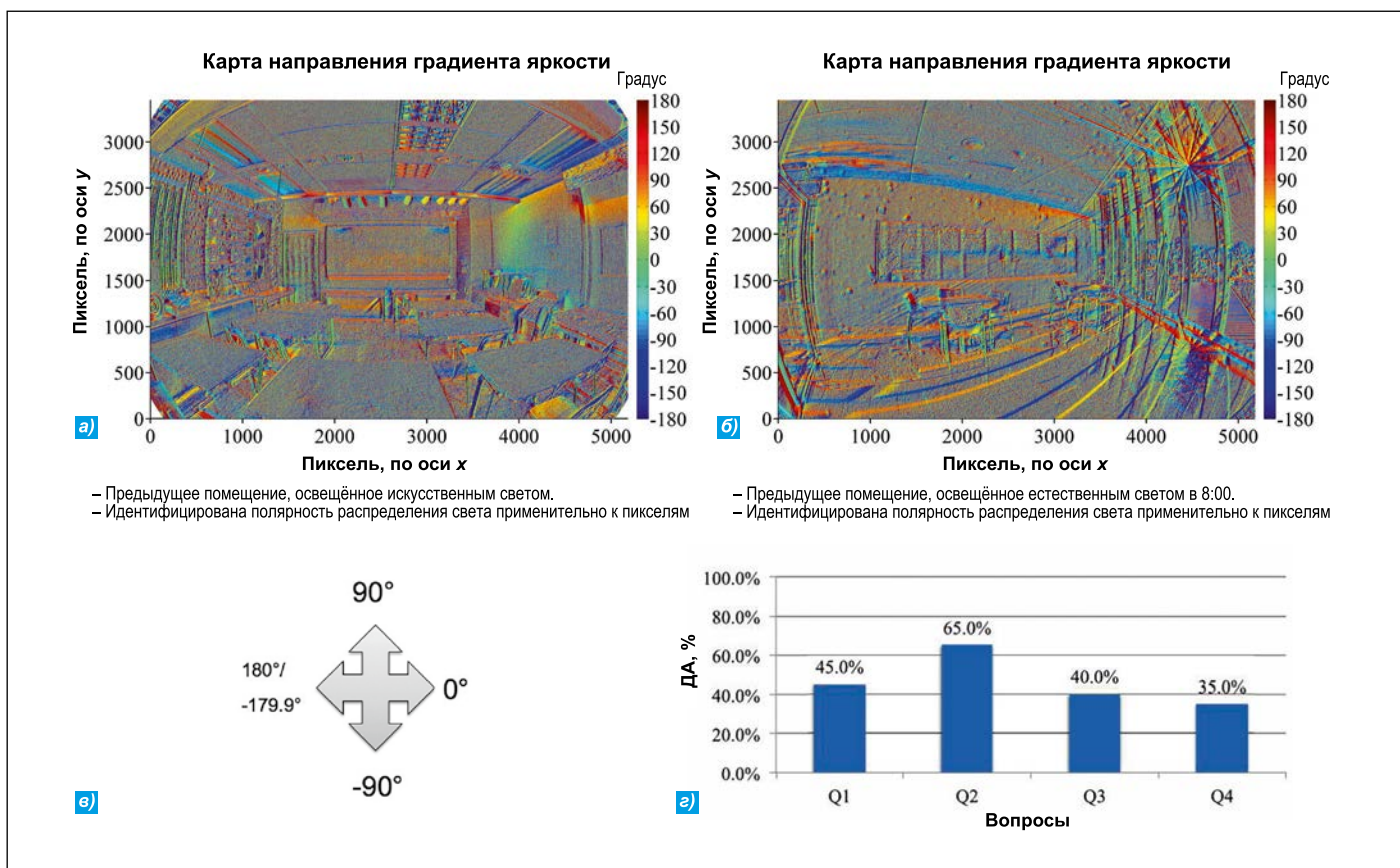


Рис. 6. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и 6 студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 2-мерным картам направления градиента яркости (0° – вправо (направление оси x), 90° – вверх, 180° и –180° – влево, –90° – вниз): а – карта направления градиента яркости в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – карта направления градиента яркости в случае холла, освещённого дневным светом; в – угол  $\theta$ , отсчитываемый в направлении против часовой стрелки от оси x; г – сводка положительных ответов на вопросы о картах направления градиента яркости

ки с высокими значениями отображаемой величины закрывают расположенные за ними точки. Поэтому 2-мерные карты величины и направления градиента яркости представляются более понятными и, тем самым, более полезными для считывания с HDR-изображений значений и яркости, и градиента яркости, чем 3-мерные графики. Рис. 7 был введён в анкету для выяснения того, могут ли 3-мерные графики оказаться полезными при проектировании освещения, или же в дальнейшем их можно не принимать во внимание. Согласно рис. 7, в, после ознакомления с 3-мерной картой градиента яркости, только 27,5 % проектировщиков освещения решили, что такие HDR-изображения были бы полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации, 67,5 % всё же считают, что эти HDR-изображения предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз, и при этом только 30 % согласились с тем, что эти изображения будут полезными при компьютерной

разработке новых проектов освещения и всего лишь 27,5 % хотели бы использовать подобные HDR-изображения в своей практике. Отсюда следует, что 3-мерное отображение градиента яркости не столь уж полезно для проектировщиков освещения, и, следовательно, в дальнейшем его можно не принимать во внимание.

### 3. Анализ результатов обследования

На рис. 2–7 приведены исходные данные – выраженная в процентах часть проектировщиков освещения, положительно ответивших на заданные вопросы. Эти данные были статистически обработаны на предмет определения выборочных средних, среднеквадратичных погрешностей и доверительных интервалов для всей генеральной совокупности (всех практикующих проектировщиков освещения) при равном 95 % уровне достоверности. Результаты проведённого статистического анализа приведены в табл. 1.

Из приведённых в табл. 1 результатов следует, что при равном 95 % уровне достоверности большинство (> 50 %) практикующих проектировщиков освещения, не знакомых с основными на HDR-изображениях методами проектирования, согласятся с тем, что 2-мерные карты яркости и 2-мерные карты величины градиента яркости окажутся полезными при проведении оценок как после заселения помещения или при его модернизации, так и при компьютерной разработке новых проектов освещения, и хотели бы использовать их в своей практике. Большинство практикующих проектировщиков освещения решат, что 2-мерные карты яркости предоставляют больше информации, чем невооружённый глаз (доверительный интервал 39,3–70,7 % при равном 55 % выборочном среднем), а 2-мерные карты величины градиента яркости – нет (доверительный интервал 31,7–63,3 % при равном 47,5 % выборочном среднем). Похоже, что 2-мерные карты яркости окажутся более привлекательными для практику-



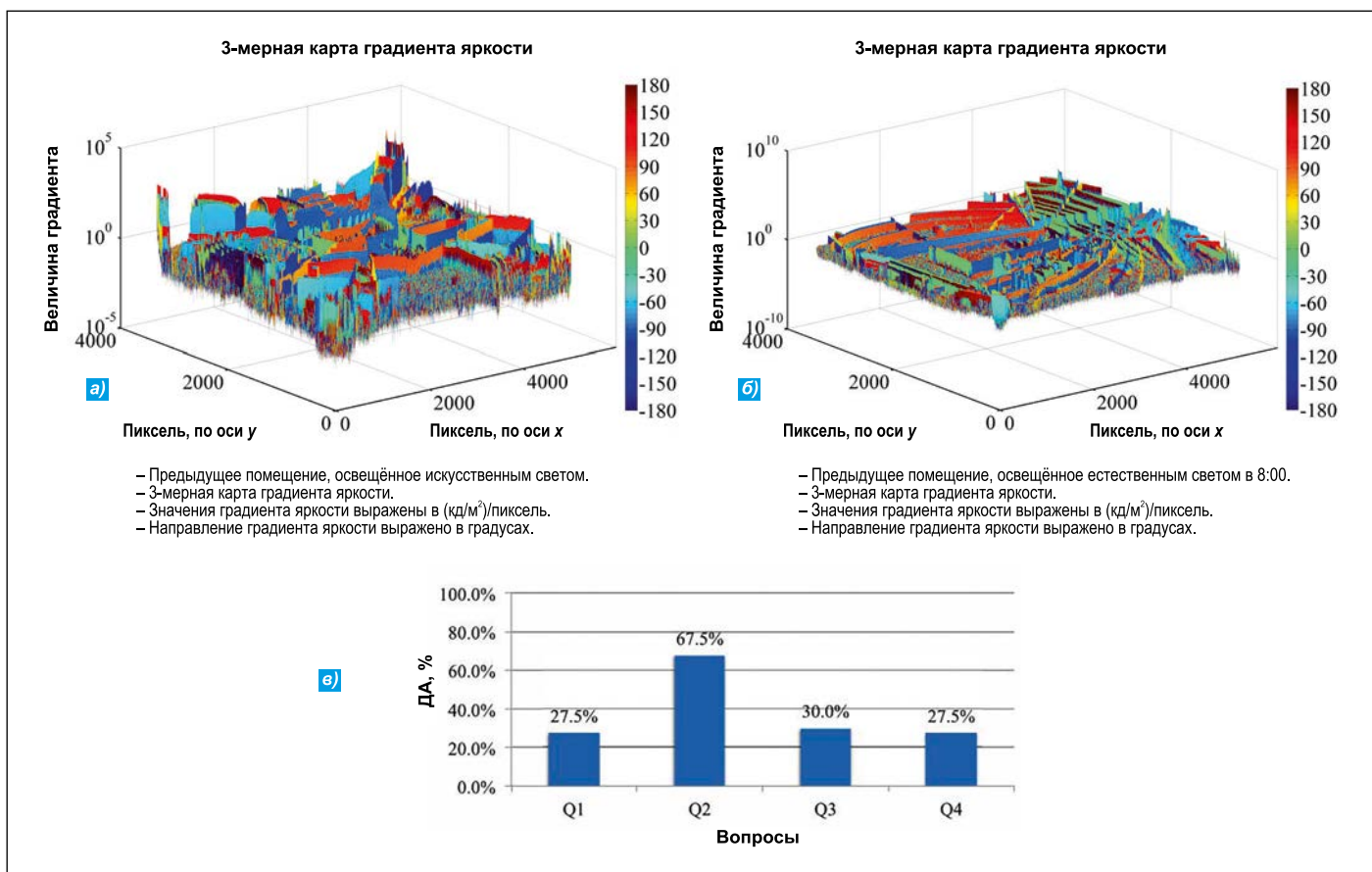


Рис. 7. Процент положительных ответов («Да») 40 проектировщиков освещения и 6 студентов на упомянутые четыре вопроса, относящиеся к 3-мерным картам градиента яркости: а – 3-мерная карта градиента яркости в случае не имеющей окон лаборатории с искусственным освещением; б – 3-мерная карта направления градиента яркости в случае холла, освещённого дневным светом; в – сводка положительных ответов на вопросы о 3-мерных картах градиента яркости

ющих проектировщиков освещения, чем 2-мерные карты величины градиента яркости.

Большинство практикующих проектировщиков освещения решат, что 2-мерные карты яркости и 2-мерные карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению соответствующего параметра не будут полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации и не предоставят больше информации, чем невооружённый глаз, и проектировщики не захотят использовать эти HDR-изображения с отсечкой в своей практике. В то же время, проектировщики освещения решат, что 2-мерные карты яркости с отсечкой по минимальному значению яркости будут полезными при компьютерной разработке новых проектов освещения (доверительный интервал 39,3–70,7 % при равном 55,0 % выборочном среднем), а 2-мерные карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению величины градиента яркости – нет (доверительный интервал

11,3–38,7 % при равном 25,0 % выборочном среднем).

Что касается 2-мерных карт направления градиента яркости, то большинство практикующих проектировщиков освещения решат, что они могут предоставить больше информации, чем невооружённый глаз (доверительный интервал 49,9–80,1 % при равном 65,0 % выборочном среднем), но не будут полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации и не помогут при компьютерной разработке новых проектов освещения, и проектировщики не захотят использовать эти карты в своей практике. Что касается 3-мерных карт градиента яркости, то большинство практикующих проектировщиков освещения решат, что они могут предоставить больше информации, чем невооружённый глаз, но не будут полезны при проведении оценок после заселения помещения или при его модернизации и не помогут при компьютерной разработке новых проектов освещения, и проек-

тировщики не захотят использовать эти карты в своей практике.

#### 4. Обсуждение

Почему большинство опытных проектировщиков освещения, постоянно работающих в этой области, не проявили большой заинтересованности в основанном на использовании компьютера и фотокамеры методе проектирования, хотя этот метод визуализации позволяет производить оценку качества освещения, например, блёскости [3]? Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть ряд неочевидных обстоятельств. То, в какой мере основанный на использовании фотокамеры метод визуализации будет полезен для потенциальных пользователей, зависит от: (а) того, насколько накопленные за годы работы эмпирические знания в области проектирования освещения, в частности, связанные с пространственным распределением яркости, могут быть расширены при использовании HDR-изображений; и (б) того, будут

Результаты статистической обработки ответов на вопросы, позволяющие оценить, является ли основанный на использовании фотокамеры метод формирования изображений действительно полезным для проектировщиков освещения

Изображения с большим динамическим диапазоном	№ вопроса	Выборочное среднее, %	Размер выборки	Среднеквадратичная погрешность, %	Доверительный интервал при уровне достоверности 95 %, %
2-мерные карты яркости	1	90,0	40	4,7	80,5–99,5
	2	55,0	40	7,9	39,3–70,7
	3	100,0	40	0,0	100
	4	82,5	40	6,0	70,5–94,5
2-мерные карты яркости с отсечкой по минимальному значению яркости	1	50,0	40	7,9	34,2–65,8
	2	37,5	40	7,7	22,2–52,8
	3	55,0	40	7,9	39,3–70,7
	4	45,0	40	7,9	29,3–60,7
2-мерные карты величины градиента яркости	1	70,0	40	7,2	55,5–84,5
	2	47,5	40	7,9	31,7–63,3
	3	75,0	40	6,8	61,3–88,7
	4	55,0	40	7,9	39,3–70,7
2-мерные карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости	1	17,5	40	6,0	5,5–29,5
	2	35,0	40	7,5	19,9–50,1
	3	25,0	40	6,8	11,3–38,7
	4	22,5	40	6,6	9,3–35,7
2-мерные карты направления градиента яркости	1	45,0	40	7,9	29,3–60,7
	2	65,0	40	7,5	49,9–80,1
	3	40,0	40	7,7	24,5–55,5
	4	35,0	40	7,5	19,9–50,1
3-мерные карты градиента яркости	1	27,5	40	7,1	13,4–41,6
	2	67,5	40	7,4	52,7–82,3
	3	30,0	40	7,2	15,5–44,5
	4	27,5	40	7,1	13,4–41,6

ли HDR-изображения и результаты их обработки настолько понятны и полезны для пользователей, не имеющих эмпирических знаний, что они захотят учиться.

Большинству практикующих проектировщиков освещения свойственны хорошее зрительное воображение и креативность. Они обладают накопленными за годы работы эмпирическими знаниями о пространственных распределениях яркости. Более того, принявшие участие в опросе 40

профессионалов не были знакомы с методами, в которых используются HDR-изображения. До анкетирования они не имели возможности изучить и опробовать неподъёмный (для не имеющих навыков работы с компьютером проектировщиков) и занимающий много времени метод компьютерной обработки HDR-изображений, что могло повлиять на понимание ими этих впервые увиденных HDR-изображений. В результате проектировщик может не захотеть преодолеть

все описанные в [3] этапы технического анализа существующего пространства, одного взгляда на которое ему будет достаточно для проведения эмпирической оценки.

Мнение этих 40 профессионалов может не отражать точку зрения неопытных проектировщиков освещения и студентов, которые могут обладать знаниями в области компьютерных расчётов и HDR-визуализации, но не имеют практического опыта. Для выяснения того, сможет ли обучение не-

опытных проектировщиков освещения HDR-фотографии и применению основанного на использовании компьютера и фотокамеры метода проектирования способствовать тому, что они будут использовать HDR-изображения для анализа проектов освещения, было проведено дополнительное анкетирование студентов, которые уже изучили основанные на использовании фотокамер методы проектирования и применяли их на практике. Ссылка на сайт, на котором была размещена анкета, была направлена этим студентам по электронной почте после окончания семестра, что позволило избежать конфликта интересов. 6 студентов анонимно ответили на вопросы в режиме онлайн.

Было установлено, что обучение может помочь студентам как понять этот основанный на использовании фотокамеры метод визуализации, так и принять и освоить использование при проектировании карт яркости, карт яркости с отсечкой по минимальному значению яркости, карт величины градиента яркости и карт направления градиента яркости, но вряд ли поможет им принять и использовать на практике карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению градиента яркости и 3-мерные карты градиента яркости.

## 5. Выводы

Это исследование посвящено применению основанного на использовании фотокамеры метода визуализации, который был предложен в [1], для оценки качества освещения в существующих осветительных установках. В этом методе принимается во внимание зрительное восприятие человека, которое должно учитываться проектировщиками освещения для формирования приятного для людей высококачественного освещения. Было установлено, что большинство практикующих проектировщиков освещения сочтут карты яркости и карты величины градиента яркости полезными, а карты яркости и карты величины градиента яркости с отсечкой по минимальному значению соответствующего параметра — бесполезными. Большинство практикующих проектировщиков освещения сочтут бесполезными как карты направления градиента яркости, так и 3-мер-

ные карты градиента яркости, которые, к тому же, слишком трудно использовать. Так что этот основанный на использовании фотокамеры метод визуализации может оказаться не очень полезным для опытных проектировщиков освещения. Скорее всего, накопленный ими многолетний опыт способен обеспечить их эмпирическое понимание проектов, которое не опирается на техническую информацию, содержащуюся в HDR-изображениях. Тем не менее, объективная количественная информация, содержащаяся в HDR-изображениях, может оказаться полезной для проектировщиков при разговорах с заказчиками или другими заинтересованными лицами, которые имеют меньший опыт в области освещения.

С другой стороны, этот метод визуализации может оказаться полезным для студентов или недавно окончивших обучение специалистов, которых научили использовать эти новые методы в процессе проектирования, что позволяет им, не имея многолетнего практического опыта, за пару часов успешно проанализировать световую среду для облегчения процесса проектирования. Кроме того, этот метод может представлять огромный интерес для обучающихся проектированию освещения преподавателей, которые постоянно ищут средства, позволяющие лучше объяснить студентам связь между качественными и количественными характеристиками освещения. Похоже, что HDR-фотография способна стать тем инструментом, который позволит зрительно проиллюстрировать те правила проектирования освещения, которые обычно трудно объяснить студентам. В своём сегодняшнем виде основанный на использовании фотокамеры метод визуализации, который был предложен в [1], трудно применять в повседневной практике проектирования освещения, и для преодоления препятствующих его применению технических барьеров потребуются дополнительные работы.

Авторы выражают благодарность Международной ассоциации светодизайнеров за содействие участию второго автора (М.И. Сайфан) в конференции «*Enlighten Americas 2013*» (Монреаль, Канада, октябрь 2013 г.), где заинтересованные проектировщики освещения получили возможность принять участие в этом исследовании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cai, H., Saifan, M.I., Killeen, J.A. Case Studies of a Camera Aided Imaging Method for Evaluation of Interior Luminous Environments, Indoor and Built Environment. (OnlineFirst). DOI:10.1177/1420326X14534457. — 2014.
2. Cai, H., Chung, T.M. Improving the quality of high dynamic range images // *Lighting Research and Technology* — 2011. — Vol. 43, No. 1. — P. 87–102.
3. Cai, H. Luminance gradient for evaluating lighting // *Lighting Research and Technology*. — 2016. — Vol. 48, No. 2. — P. 155–175.
4. Inanici, M.N. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system // *Lighting Research and Technology*. — 2016. — Vol. 48, No. 2. — P. 123–136.
5. Cuttle, C. Towards the third stage of the lighting profession // *Lighting Research and Technology*. — 2010. — Vol. 42, No. 1. — P. 73–93.
6. Jay, P.A. Review: subjective criteria for lighting design // *Lighting Research and Technology*. — 2002. — Vol. 34, No. 2. — P. 87–96.
7. Yonemura, G.T. Criteria for recommending lighting levels // *Lighting Research and Technology*. — 1981. — Vol. 13, No. 3. — P. 113–129.
8. Nazzari, A. A new daylight glare evaluation method: introduction of the monitoring protocol and calculation method // *Lighting Research and Technology*. — 2001. — Vol. 33, No. 3. — P. 257–265.
9. Howlett, O.A. Reflectance characteristics of display screen equipment: application to workplace lighting design // *Lighting Research and Technology*. — 2003. — Vol. 35, No. 4. — P. 285–296.
10. Sarkar, A., Mistrick, R. A Novel Lighting Control System Integrating High Dynamic Range Imaging and DALI // *Leukos*. — 2006. — Vol. 2, No. 4. — P. 307–322.
11. Wienold, J., Christoffersen, J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras // *Energy and Buildings*. — 2006. — Vol. 38, No. 7. — P. 743–757.
12. Howlett, O., Hescong, L., Mchugh, J. Scoping study for daylight metrics from luminance maps // *Leukos*. — 2007. — Vol. 3, No. 3. — P. 201–215.
13. Tuaycharoen, N., Tregenza, P.R. View and discomfort glare from windows // *Lighting Research and Technology*. — 2007. — Vol. 39, No. 2. — P. 185–200.
14. Cantin, F. Daylighting Metrics Based on Illuminance Distribution, Glare, and Di-

rectivity // Lighting Research and Technology. — 2010. — Vol. 43, No. 3. — P. 291–307.

15. *Bellia, L., Spadaa, G., Pedace, A.* Lit environments quality: a software for the analysis of luminance maps obtained with the HDR imaging technique // Energy and Buildings. — 2013. — Vol. 67. — P. 143–152.

16. Recommended Practice for Daylighting Buildings. IES RP-5–13. New York: Illuminating Engineering Society, 2013.

17. Discomfort Glare in the Interior Working Environment. CIE Publication 055. Paris: CIE, 1983.

18. *Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M., Johnson, P.* 2010. The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylight office environment // Leukos. — 2010. — Vol. 7, No. 2. — P. 103–122.

**На приведённые ниже публикации ссылки в статье отсутствуют.**

*Albrecht, D.C.* n.d.. Measuring Color-Systems and Costs. Retrieved May 11, 2011, from <http://www.dcdadvancedtech.com/systems%26costs.pdf>.

*Alzoubi, H., Al-Rqaibat, S., Bataineh, R.F.* Pre-versus post-occupancy evaluation of daylight quality in hospitals // Building and Environment. — 2010. — Vol. 45, No. 12. — P. 2652–2665.

*Boyce, P.R., Slater, A.I.* 1981. The application of CRF to office lighting design // Lighting Research and Technology. — 1981. — Vol. 13, No. 2. — P. 65–79.

*Cornolly, C., Leung, T.W.W.* Industrial color inspection by video camera // Proc. of the 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Image Processing and Its Applications. Conference publication No. 410. IEE1995. July 4–6, 1995, Edinburgh, UK.

*de Lasarte, M., Vilaseca, M., Pujol-Ramo, J., Arjona, M., Martínez-Verdú, F.M., de Fez, D., Viqueira, V.* Development of a perceptual colorimeter based on a conventional CCD camera with more than three color channels // Proc. of the 10<sup>th</sup> Congress of the International Colour Association (AIC'05). International Colour Association, 2005, 1247–1250.

*Hong, G., Luo, M.R., Rhodes, P.A.* 2001. A study of digital camera colorimetric characterization based on polynomial modeling // Color Research and Applications. — 2001. — Vol. 26, No. 1. — P. 76–84.

*Konis, K., Lee, E.S., Clear, R.D.* Visual comfort analysis of innovative interior and exterior shading systems for commercial buildings using high resolution luminance images // Leukos. — 2011. — Vol. 17, No. 3. — P. 167–188.

*Lupton, M.J., Leung, A.S.M., Carter, D.J.* Advances in lighting design methods for non-empty interiors: a review // Lighting

Research and Technology. — 1996. — Vol. 28, No. 1. — P. 29–41.

*Martínez-Verdú, F., Pujol-Ramo, J., Capilla-Perea, P.* Characterization of a digital camera as an absolute tristimulus colorimeter // Journal of Imaging Science and Technology. — 2003. — Vol. 47, No. 4. — P. 279–295.

*Seymour, J.* The technical association of the graphic arts (TAGA). 61st Annual Technical Conference, New Orleans, Louisiana, March 15–18, 2009. Retrieved May 11, 2011, from <http://www.gaintest.net/tagaatc09/presentations/2009%20Session%201%20Paper%2005%20Seymour.pdf>.

*Tobin, K.W., Goddard, J.S., Hunt, M.A., Hylton, K.W., Karnowski, T.P., Simpson, M.L., Richards, R.K., Treece, D.A.* // Proceedings-SPIE The International Society For Optical Engineering. — 2000. — Vol. 3966, No. 29. — P. 194–205.

*Ward, G.* Radiance visual comfort calculation // 1992. — Retrieved January 10, 2011, from <http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/Notes/glare.html>.

*Wienold, J.* 2010. Daylight glare in offices // Fraunhofer IRB. — 2010. — Retrieved November 14, 2015, from <http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn:nbn:de:0011-n-1414579.pdf>.

Imaging Systems Tackle Color Measurement. Vision Systems Design. Ed.A. Wilson. — 2007. — Retrieved May 23, 2011, from <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-12/issue-8/features/product-focus/imaging-systems-tackle-color-measurement.html>.



**Хонгу Цай (Hongyi Cai),**

Ph.D. Доцент Университета шт. Канзас, США. Онователь светотехнической лаборатории этого университета, работы которой

получали престижные международные и национальные премии. Член ряда американских и международных научных организаций

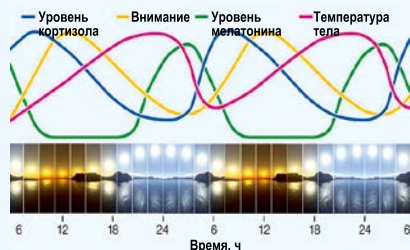


**Маруам И. Сайфан (Mariam I. Saifan),** M.Sc.

Область научных интересов: проектирование освещения

## Регулируемое освещение белыми светодиодами полезно для пожилых

Нарушения сна обычны для жителей домов престарелых (ЖДП), что связано с их возрастом и заболеваниями. Может ли освещение что-то менять в этом отношении? На



этом вопрос (хотя бы предварительно) решили ответить дом престарелых азиатской общины и коммунальная служба г. Сакраменто (шт. Калифорния) под эгидой Минэнерго США, заменив в доме престарелых люминесцентные лампы в одном из коридоров, в двух жилых помещениях (включая ванную комнату), на сестринском посту, в общей гостиной и в административном помещении и обеспечив «регулируемый белый свет», т.е. белый свет, спектральный состав которого можно было менять благодаря многообразию используемых в качестве источников света светодиодов (СД). При этом исследователи особенно интересовало влияние регулирования спектра на уровень мелатонина у ЖДП. (Мелатонин — вырабатываемый телом гормон, который регулирует сон и бодрствование. Кроме того, он является антиоксидантом и, тем самым, участвует в восстановлении клеток и оказывает противовоспалительное действие. У человека уровень мелатонина в крови возрастает (ночью) и снижается (днём) в течение 24-часового (циркадного) цикла сна-бодрствования.

В соответствии с рекомендациями Светотехнического исследовательского центра Политехнического института Ренсселера (г. Трой, шт. Нью-Йорк), исследователи при помощи системы управления получали свет, интенсивность и спектр которого должны были обеспечить снижение секреции мелатонина с утра до полудня, но не в вечернее время.

Результаты исследований, приведённые в отчёте, впечатляют:

- У трёх участвовавших в исследовании ЖДП уменьшилась частота случаев возбуждённого поведения, такого как крики и плач.
- У одного из ЖДП значительно снизилась потребность в психотропных и снотворных препаратах.
- В коридоре сократилась частота случаев падения ЖДП.
- ЖДП, комнаты которых располагались в других местах, стали «тусоваться» в освещённом СД коридоре.

Отчёт Минэнерго США по этому проекту («*Tuning the Light in Senior Care: Evaluating a Trial LED Lighting System at the ACC Care Center in Sacramento, CA*») можно бесплатно получить в Национальном бюро по освещению (National Lighting Bureau).

[www.led-professional.com](http://www.led-professional.com)  
05.01.2017

# Установка для измерения фотометрических характеристик ряда светильников со светодиодами<sup>1</sup>

А. РОСАТО\*, М. СКОРПИО\*\*, С. СИБИЛИО\*, ДЖ. ЧАМПИ\*

\* Второй неапольский университет, Аверса, Италия

\*\* Университет Саннио, Беневенто, Италия

E-mail: mscorpio@email.it

## Аннотация

Предложена простая и дешёвая установка для измерения фотометрических характеристик небольших светильников со светодиодами. Установка состоит из расположенной в тёмной комнате фотометрической скамьи с обычным яркомером и фотояркомером и позволяет измерять распределение яркости цели, на которую падает световой поток источника света. При помощи измеренного распределения яркости, коэффициента отражения поверхности цели и закона обратных квадратов легко получить распределение силы света этого источника света.

Надёжность и точность предложенных установки и методики были оценены применительно к светодиоду, использовавшемуся в качестве источника света, посредством сравнения результатов измерений с данными изготовителя.

**Ключевые слова:** СД, фотояркомер, определение силы света, определение светового потока, измерение распределения яркости.

## 1. Введение

По мере расширения применения светодиодов (СД) в качестве источников света возрастает важность описания не одного только источника света, а всей состоящей из осветительной арматуры и источника света системы. В отличие от светильников, в которых используются другие источники света, в светильнике с СД источник света нельзя с лёгкостью отделить от осветительной арматуры. Как следствие, эти светильники следует измерять при помощи методов «абсолютной фотометрии», а не «относительной фотометрии» [1], что приводит к широкому использованию гониофотометров. Несмотря на преимущества при опи-

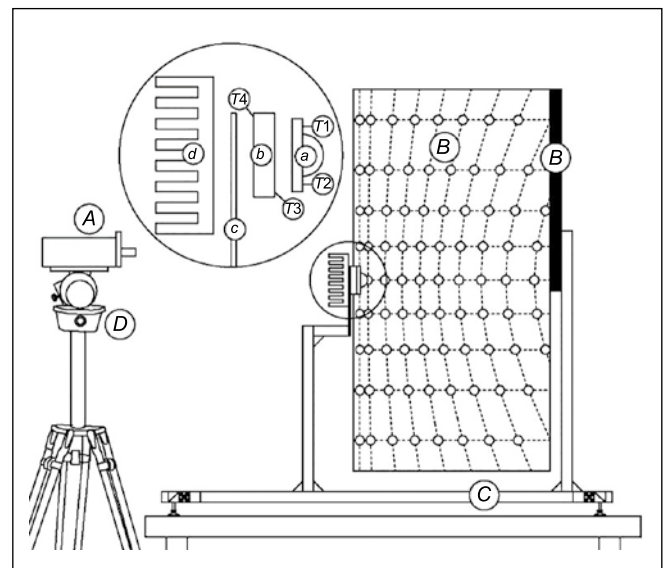
сании СД, применение гониофотометров ограничено стоимостью их приобретения и эксплуатации. В частности, стоимость гониофотометра превышает €100000, и она возрастает по мере увеличения размеров измеряемого светильника. Учитывая это, хотелось бы иметь дешёвую (по сравнению с гониофотометром) систему, которая позволяла бы с приемлемой точностью описывать фотометрические характеристики разрабатываемых светильников.

Ранее был предложен упрощённый подход к фотометрической оценке глубокоизлучателей [2]. Здесь же описаны простая экспериментальная установка, смонтированная на факультете архитектуры и промышленной эстетики «Luigi Vanvitelli» для измерения фотометрических характеристик СД или светильников с СД, методика проведения измерений и результаты оценки точности измерений характеристик отдельного СД. Стоимость приобретения и эксплуатации предложенной установки гораздо ниже, чем в случае гониофотометра. Эта установка позволяет с достаточной точностью получать

значимые результаты, и её можно использовать на всех этапах разработки нового светильника. Разработанная установка позволяет измерять распределение силы света во всём полупространстве и может использоваться применительно не только к источникам света, излучающим узкие пучки лучей, но и к источникам с любым другим распределением излучения. Для получения недорогого устройства в качестве целей были использованы не ламбертовские поверхности, а более простые и дешёвые материалы. Установка основана на использовании фотояркомера (*imaging luminance measurement device*), позволяющего получить распределение яркости при освещении цели источником света, и преобразовании этого распределения яркости в распределение освещённости, после чего при помощи закона Ламберта рассчитывается распределение силы света источника света.

Для оценки точности установки были проведены два эксперимента. Первый из них предусматривал проверку правильности результатов измерений яркости, что осуществлялось посредством сравнения результатов измерений, проведённых с использованием фотояркомера, с результатами, полученными при помощи обычных яркомеров. Второй эксперимент проводился с целью определения надёжности и точности предложенного метода измерений и заключался в сравнении полученного экспериментально распределения силы света источника света с данными изготовителя.

Рис. 1. Схематическое изображение экспериментальной установки.  
А – люксметр,  
В – картон с целями,  
С – опорная конструкция,  
D – треножник,  
a – источник света,  
b – ячейка Пельтье,  
c – опорная пластина,  
d – радиатор, T1-T4, – термопары типа T



<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

## 2. Экспериментальная установка

На факультете архитектуры и промышленной эстетики «Luigi Vanvitelli» была создана тёмная комната размером 3,0×3,0×3,0 м. Согласно Приложениям А европейских стандартов EN13032–1 [3] и EN13032–4 [4], стены этой тёмной комнаты были закрыты чёрной тканью, прикреплённой к жёсткой раме, что позволяло максимально уменьшить рассеянный свет. Температура в комнате регулировалась при помощи системы кондиционирования воздуха.

На рис. 1 представлено схематическое изображение экспериментальной установки. Эта смонтированная в тёмной комнате установка состояла из опорной конструкции, источника света, источника постоянного тока, ячейки Пельтье, радиатора, блока сбора данных, фотоярмера и двух целей.

Исследовавшийся источник света  $a$  помещался на ячейку Пельтье  $b$ , с которой он термически контактировал, и полученная конструкция закреплялась на опорной пластине  $c$  и радиаторе  $d$ . При помощи ячейки Пельтье можно обеспечить постоянство температуры  $p$ - $n$ -перехода СД, а выделяемое тепло отводится радиатором. Опорная конструкция  $C$  – это модульная конструкция, изготовленная из алюминиевых профилей и обеспечивающая жёсткую фиксацию источника света, целей, приборов и всех остальных элементов, которые требуются для проведения измерений. Эта изготовленная из алюминиевых профилей модульная конструкция позволяет регулировать положение источника света. Излучаемый источником света световой поток падает на две поверхности (цели)  $B$ , формируя распределения яркости, которые захватываются яркомером  $A$ .

В изображённой на рис. 1 установке поверхности целей  $B$  формируют воображаемый куб с размером ребра 1,000 м, в центре которого находится источник света. Поворачивая источник света вокруг оси  $\gamma = 0^\circ$  с шагом  $90^\circ$ , можно исследовать всё полупространство. Цель № 1 была установлена в вертикальном положении перед источником света на расстоянии 0,500 м от него, а цель № 2 была установлена сбоку от источника света на расстоянии 0,500 м от него тоже в вертикальном положении и перпендику-

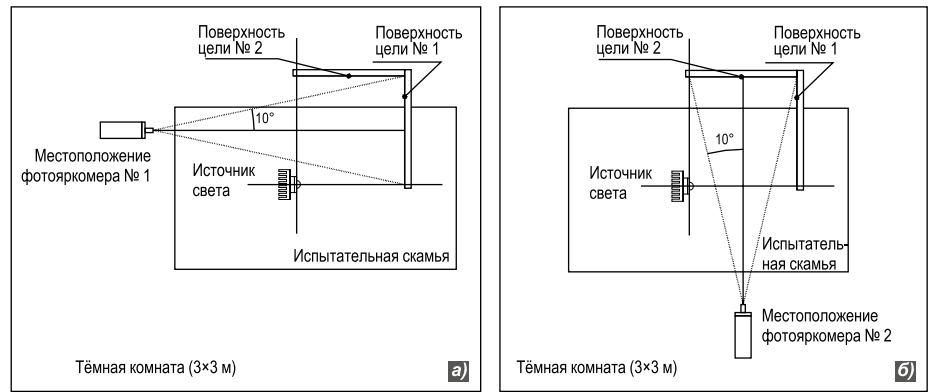


Рис. 2. План тёмной комнаты с яркомером, расположенным в точках № 1 (а) и № 2 (б)

лярно цели № 1. На рис. 2 приведён план тёмной комнаты с указанием положения источника света, положений двух освещаемых целей и двух точек, в которых размещали фотоярмер для захвата распределений яркости по поверхностям целей № 1 (рис. 2, а) и № 2 (рис. 2, б).

Для измерения распределения силы света и, тем самым, для определения положений целей была выбрана система координат  $C$ - $\gamma$  [3, 5]. Применительно к целям данной работы, измерения силы света осуществлялось с шагами  $5^\circ$  по углу  $\gamma$  и  $10^\circ$  по углу  $C$ . Яркомер (обычный или фото) размещали на профессиональном фотографическом треножнике, снабжённом головкой, позволяющей осуществлять точное перемещение в 3-х направлениях. И наконец, значения как токов и напряжений питания СД и ячейки Пельтье, так и температуры, измерялись и сохранялись при помощи мультиметра FLUKE NetDAQ 2640A [6].

Для измерения температуры в пяти разных точках установки использовались термопары типа  $T^2$  (точность измерений  $\pm 1^\circ\text{C}$ ): термопары  $T1$  и  $T2$  были размещены на поверхности печатной платы как можно ближе к СД, термопара  $T3$  – на поверхности ячейки Пельтье со стороны печатной платы, термопара  $T4$  – на противоположной поверхности ячейки Пельтье, а последняя термопара ( $T5$ ) – недалеко от источника света для контроля температуры окружающей среды.

Расстояние между источником света и целями было выбрано в соответствии с фотометрическим законом расстояний. В этом случае источник света можно считать точечным, и рас-

считывать силу света при помощи закона Ламберта с пренебрежимо малой, меньшей чем 0,5 %, погрешностью [7]. При известном положении источника света, закон Ламберта позволяет, зная освещённость  $E$  на поверхности расположенной в направлении  $\gamma$  цели, расстояние  $d$  между источником света и рассматриваемой точкой и углом  $\alpha$  между нормалью к поверхности цели и углом падения света, рассчитать значение силы света  $I_\gamma$ :

$$I_\gamma = \frac{E \cdot d^2}{\cos \alpha}. \quad (1)$$

Считая поверхность цели ламбертовской, можно воспользоваться соотношением

$$E = \frac{\pi L_\gamma}{\rho}, \quad (2)$$

где  $L_\gamma$  – яркость, измеренная на поверхности цели в направлении  $\gamma$ ,  $\rho$  – коэффициент отражения поверхности цели. Подставив (2) в (1), получаем выражение, которое использовалось в данной работе для расчёта силы света в направлении  $\gamma$ :

$$I_\gamma = \frac{\pi \cdot L_\gamma \cdot d^2}{\rho \cdot \cos \alpha}. \quad (3)$$

## 3. Фотометрическое описание целей

Это исследование началось с выбора материала поверхности цели. Для фотометрического описания картонной поверхности при различных положениях источника света и яркомера были измерены значения коэффициента отражения и выявлены отклоне-

<sup>2</sup> Медь-константановые. – Прим. пер.

ния от диффузного (ламбертовского) характера отражения.

Коэффициенты отражения двух картонов были измерены при помощи спектрофотометра *Konica Minolta 2600d* (диаметр интегрирующей сферы 52 мм, диапазон длин волн 360–740 нм, среднеквадратичное отклонение спектрального коэффициента отражения в пределах 0,1 %). Измерения коэффициентов отражения каждого картона производились в трёх точках. Коэффициенты отражения в каждой из точек измерялись с использованием трёх разных иллиuminантов (*A*, *D50* и *D65*), и все измерения проводились с учётом и без учёта зеркальной составляющей. Значения коэффициентов отражения, полученные в разных точках и при использовании разных иллиuminантов, говорят о том, что выраженные в процентах отличия между значениями, полученными с учётом и без учёта зеркальной составляющей, составляют 0,28–0,33 %. Это чрезвычайно малое расхождение позволяет считать, что все поверхности целей имеют коэффициент отражения, равный 72,19 %.

На рис. 3, а приведена компоновка установки, позволяющая измерять пространственные изменения яркости одной и той же точки поверхности при перемещении источника света и яркомера по круговой траектории. Для каждого положения яркомера и источника света были проведены три измерения яркости.

Для измерения яркости использовался обычный яркомер *LS110* [8] (угловая апертура  $1/3^\circ$ , точность  $\pm 2\%$  или  $\pm 1$  единица последнего разряда измеренного значения). Как следует из рис. 2, если учитывать относительное пространственное расположение источника света, цели и яркомера, то при проведении измерений свет падал на цели под углами от 0 до  $55^\circ$ . По этой причине источник света размещали под углами 0, 35 и  $55^\circ$  относительно нормали к исследовавшейся поверхности картона, и измерения яркости проводили для пяти направлений:  $-20$ ,  $-10$ , 0, 10 и  $20^\circ$  относительно нормали к поверхности. Принимая в качестве опорного значение яркости в направлении  $0^\circ$ , можно определить относительное изменение яркости  $\Delta L$ :

$$\Delta L = \frac{L_\theta - L_0}{L_0} \times 100, \% \quad (4)$$

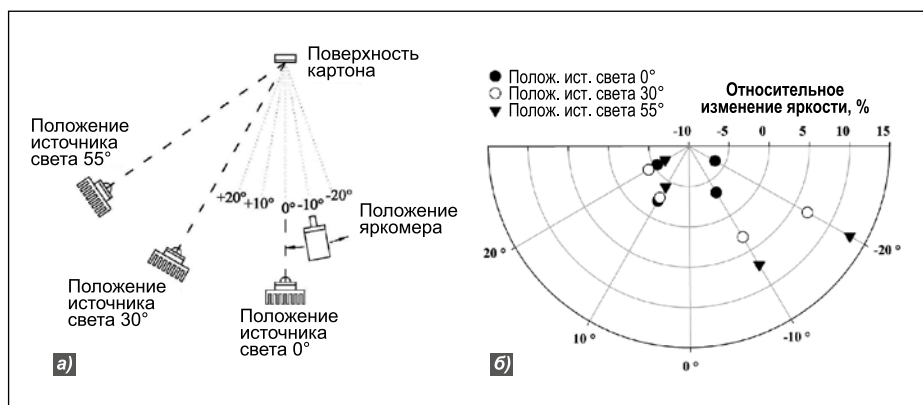


Рис. 3. Установка, скомпонованная для измерения пространственного изменения яркости поверхности (а), и относительное пространственное изменение яркости (б)

где  $L_\theta$  – яркость, измеренная в направлении  $\theta$ .

На рис. 3, б для всех положений источника света приведены зависимости  $\Delta L$  от направления измерения значений яркости. Из этого графика следует, что изменение всегда было меньше чем 10 %, за исключением случая, когда источник света располагался под углом  $55^\circ$ , а яркомер – под углом  $-20^\circ$ .

Учитывая цели данной работы и полученные экспериментальные данные, поверхность картона (а затем и поверхность цели) было решено считать ламбертовской. Как следствие этого допущения, коэффициент отражения можно было считать постоянным во всех направлениях, так что яркость цели не зависела от угла наблюдения.

#### 4. Методика

Для того, чтобы источник света можно было с пренебрежимо малой погрешностью считать точечным, диффузно отражающая поверхность размещалась в дальнем поле.

Распределение силы света источника света рассчитывалось при помощи уравнения (3), начиная при этом с определения распределения яркости поверхности цели.

Измерения проводились при помощи фотокамеры для измерения яркости и цвета *LMK 98–3 Colour* [9] компании *TechnoTeam* [10], в которой используются ПЗС *Sony ICX 285 AL*. Разрешающая способность этой фотокамеры равна  $1380 \times 1032$  пикселя, а размер пикселя равен  $6,45 \times 6,45$  мкм. При проведении измерений использовали объектив *TT25* с фокусным расстоянием 25 мм и полем зрения  $19,9^\circ$

(ширина)  $\times 15,1^\circ$  (высота). Прибор имеет относительную спектральную чувствительность  $f_1 = 2,7\%$  и точность  $\pm 4,7\%$ . Измеренные распределения яркости сохраняются в цветовом формате, когда разные цвета соответствуют разным значениям яркости, или в табличном формате, когда каждому из пикселей изображения ставится в соответствие некое значение яркости. При этом значения яркости отображаются как при помощи псевдоцветов, так и в виде таблиц (в кд/м<sup>2</sup>).

На рис. 4 показано типичное измеренное распределение яркости белой картонной цели. Как видно на рис. 4, на поверхность картона предварительно были нанесены концентрические окружности и кружки, соответствующие выбранным точкам измерения. Яркость измерялась применительно к кругу диаметром  $7,7 \cdot 10^{-3}$  м, площадь которого охватывала 333 пикселя матрицы ПЗС. Соответствующее этому кругу значение яркости, которое использовалось для определения силы света в этом направлении, было получено усреднением 333 значений яркости.

Измерения проводились в три этапа:

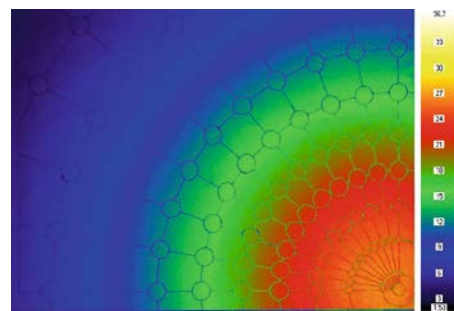


Рис. 4. Представленное в псевдоцветах типичное распределение яркости поверхности цели № 1 (перед источником света)

Рис. 5. Фотография установки

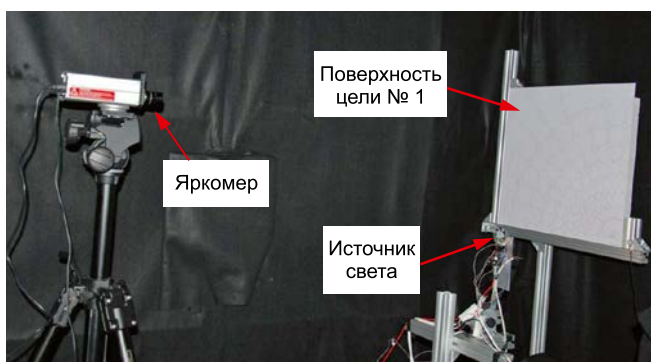
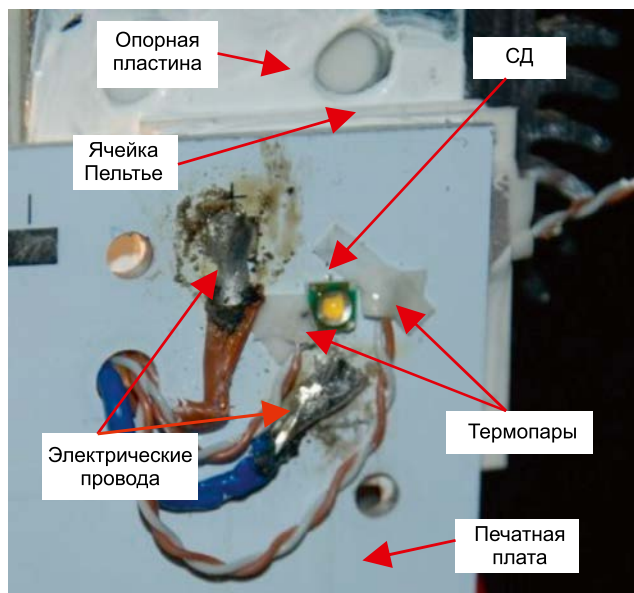


Рис. 6. Подробное изображение источника света, использовавшегося при калибровке



• Первый этап: все части испытательной скамьи были помещены в тёмную комнату, после чего были проверены их относительное расположение и юстировка.

• Второй этап: при помощи фотояркомера типа *LMK* с объективом *TT25* были измерены значения яркости всех целей, обозначенных на поверхностях двух листов белого картона. Измерения начинали только после электрической и термической стабилизации источника света [4, 11]. Полученные распределения яркости обрабатывались при помощи программного обеспечения *LMK* для получения средних значений яркости каждой из целей.

• Третий этап: полученные значения яркости при помощи уравнения (3) были преобразованы в распределение силы света.

На рис. 5 приведена фотография экспериментальной установки, на которой видно относительное расположение яркомера, цели № 1 и источника света.

В конце для дополнительной проверки значений яркости, получен-

ных при помощи фотояркомера, были проведены измерения с использованием обычного яркомера *LS110* [8]. Яркости целей были измерены при помощи двух яркомеров, поочередно устанавливаемых в одном и том же месте, после чего в соответствии с [12] была рассчитана относительная разность яркостей:

$$e_{r,L} = \frac{L_V - L_T}{L_T} \times 100, \% \quad (5)$$

где  $L_V$  – значение яркости, полученное при помощи фотояркомера, а  $L_T$  – значение яркости, полученное при помощи обычного яркомера и принятое в качестве опорного.

Рассчитанные значения  $e_{r,L}$  всегда были меньше, чем 6 %, изменяясь в интервале от -5,71 до 5,35 %, и обычно оказывались отрицательными, так что значения яркости, полученные при помощи фотояркомера, обычно были меньше значений, полученных при помощи обычного яркомера. В частности, в случае цели № 1 максимальная относитель-

ная разность яркостей соответствовала точке  $C = 40^\circ$ ,  $\gamma = 42,5^\circ$  ( $e_{r,L} = (7,44 - 7,76)/7,76 \cdot 100 = 4,12\%$ ), а в случае цели № 1 – точке  $C = 70^\circ$ ,  $\gamma = 47,5^\circ$  ( $e_{r,L} = (5,66 - 6,00)/6,00 \cdot 100 = 5,67\%$ ).

## 5. Результаты и обсуждение

Для калибровки установки и оценки методики измерения распределения силы света и полного светового потока использовался СД *Cree led X-Lamp XP-E* [13] мощностью 0,30 Вт с заявленным световым потоком 35,409 лм [13].

Для обеспечения возможности сравнения результатов измерений с данными изготовителя, при проведении калибровки мощность этого СД поддерживалась равной 0,30 Вт; прямой ток при этом был равен 105 мА. На всём протяжении измерений температура *p-n*-перехода поддерживалась на уровне 25 °С, а температура в помещении – на уровне 21 °С. При этом регистрировали и сохраняли значения всех электрических и тепловых характеристик.

На рис. 6 показаны исследованный источник света, расположенный на печатной плате, а также термопары *T1* и *T2* (см. рис. 1), электрические провода, ячейка Пельтье и опорная пластина. Для уменьшения теплового соприкосновения между поверхностью печатной платы и термопарами для крепления термопар использовалась теплопроводящая клейкая лента.

На рис. 7 приведены полученные экспериментально (непрерывные линии) и заявленные изготовителем (штриховая линия) кривые силы света, соответствующие трём полуплоскостям  $C$  ( $C0$ ,  $C70$  и  $C90$ , где  $C70$  – полуплоскость, в которой при измерениях было зарегистрировано максимальное значение силы света).

Относительная разность яркостей  $e_{r,L}$  была рассчитана в соответствии с [12] с использованием в качестве опорных значений данных изготовителя:

$$e_{r,L} = \frac{L_{EXP} - L_{MAN}}{L_{MAN}} \times 100, \% \quad (6)$$

где  $L_{EXP}$  – значение яркости, полученное экспериментально, а  $L_{MAN}$  – значение яркости, заявленное изготовителем и принятое в качестве опорного.

Рис. 7 демонстрирует хорошее совпадение экспериментальных данных



и данных изготовителя. В то же время, следует отметить, что если данные изготовителя говорят о примерном совпадении значений силы света, соответствующих одним и тем же углам  $\gamma$  и разным углам  $C$ , то экспериментальные данные при одном и том же угле  $\gamma$  несколько зависят от угла  $C$ . Анализ экспериментальных данных позволил выделить четыре диапазона углов  $\gamma$ , для которых были получены разные значения относительной разности яркостей:

- Диапазон  $0-30^\circ$ , в котором относительная разность яркостей может быть как положительной, так и отрицательной, и лежит в пределах от 2,77 до -5,50 %.

- Диапазон  $30-60^\circ$ , в котором относительная разность яркостей может быть только отрицательной и лежит в пределах от -4,16 до -18,52 %.

- Диапазон  $60-80^\circ$ , в котором относительная разность яркостей может быть как положительной, так и отрицательной, и лежит в пределах от 7,61 до -4,79 %.

- Диапазон  $80-90^\circ$ , в котором относительная разность яркостей может быть только отрицательной. Можно заметить, что в этом диапазоне углов  $\gamma$  значения относительной разности яркостей очень непостоянны. Для направлений  $C = 70^\circ, \gamma = 82,5^\circ$ ;  $C = 70^\circ, \gamma = 90^\circ$  и  $C = 90^\circ, \gamma = 82,5^\circ$  относительная разность яркостей меньше чем 20 %, для направлений  $C = 0^\circ, \gamma = 82,5^\circ$  и  $C = 70^\circ, \gamma = 87,5^\circ$  относительная разность яркостей равна, соответственно, 22,42 и -23,63 %, тогда как для остальных направлений относительная разность яркостей превышает 40 %.

Согласно уравнению (6), отрицательное значение относительной разности яркостей означает, что результат измерений меньше заявленного изготовителем значения. Большое различие между измеренным и заявленным значениями наблюдалось при углах  $\gamma$ , лежащих в диапазоне  $82,5-90^\circ$ , и может быть связано с тем, что электрические провода и термопары рассеивают свет, распространяющийся в этих направлениях.

На основе измеренного распределения силы света источника света можно рассчитать его полный световой поток.

Полный световой поток получают суммированием световых потоков, излучаемых во всех направлениях.

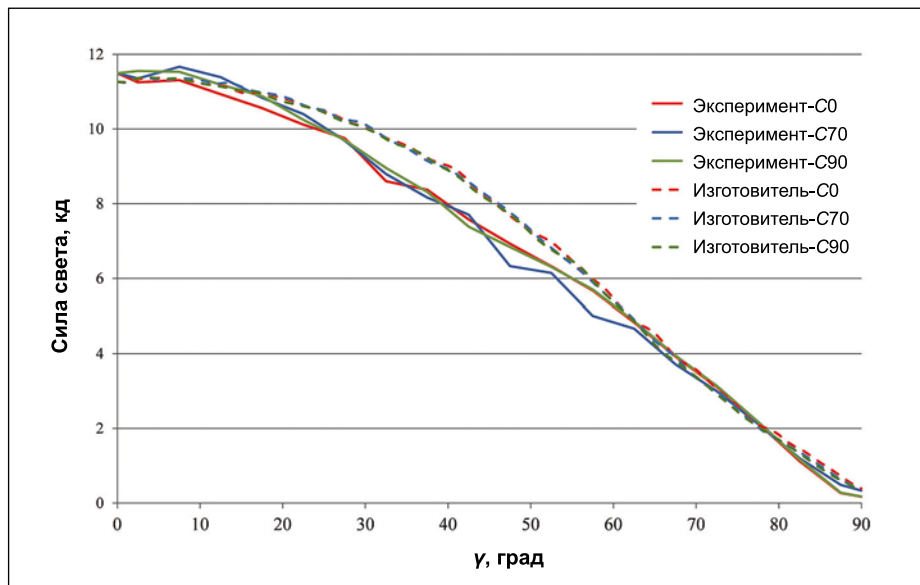


Рис. 7. Сравнение экспериментальных и заявленных производителем распределений силы света в полуплоскостях  $C_0$ ,  $C_90$  и  $C_70$  ( $C_70$  – полуплоскость, в которой зарегистрировано максимальное значение силы света)

В данной работе считалось, что весь излучаемый источником свет падает на воображаемую полусферу (в центре которой расположен источник света), которую разделили на 648 зон, ограниченных линиями, отстоящими друг от друга на  $\Delta C = 10^\circ$  и  $\Delta \gamma = 5^\circ$ , и для этих зон были рассчитаны соответствующие телесные углы.

Полный световой поток, рассчитанный на основе результатов измерений, оказался равным 31,49 лм, а по данным изготовителя он должен был быть равен 35,409 лм. Сравнив экспериментальное и заявленное изготовителем значения полного светового потока и выбрав последнее в качестве опорного, можно рассчитать относительную погрешность [12], которая оказалась равной -11 %. Результаты эксперимента подтверждают потенциальную полезность предлагаемой установки, которая позволила получить результаты, сопоставимые с полученными в аналогичной работе [2].

## 6. Выводы

В данной работе приведено полное описание предлагаемой простой установки для измерения характеристик СД и небольших светильников с СД, которая была разработана и изготовлена в лаборатории контроля искусственной окружающей среды факультета архитектуры и промышленной эстетики «Luigi Vanvitelli» Второго неапольского университета. Приведены принятые допущения и методика из-

мерений, а также оценки надёжности и точности результатов измерений. Целью работы было создание экспериментальной установки, позволяющей определить распределения силы света и полные световые потоки небольших светильников с СД. Эта установка является прообразом системы, стоимость приобретения и эксплуатации которой будет намного ниже, чем у гониофотометрических систем аналогичного назначения, и которую можно будет использовать на всех этапах процесса проектирования нового светильника.

Надёжность и точность предложенных установки и методики были проверены при помощи измерения характеристик СД, использовавшегося в качестве источника света, и сравнения результатов измерений с данными изготовителя этого СД. Различия оценивались применительно как к распределению, так и к абсолютным значениям силы света.

Полученные результаты говорят о том, что на результаты измерений влияют как пространственное распределение коэффициента отражения поверхности цели, так и относительное расположение источника света и яркомера. Если не учитывать значения силы света, соответствующие направлениям, в которых сказывается влияние затенения электрическими проводами и термопарами, то максимальная относительная погрешность измерения оказалась равной -18,52 %. Что касается полного све-

того потока, то в этом случае относительная разность между результатами измерений и данными изготовителя оказалась равной –11 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IES LM-79–08, New York: Illuminating Engineering Society, 2008.
2. *Bellia, L, Spada, G.* Photometric characterisation of small sources with high dynamic range illuminance mapping//Lighting Research and Technology. – 2014. – Vol. 46. – P. 329–340.
3. EN13032–1 Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires. Part 1: Measurement and file format.
4. EN13032–4: Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires. Part 4: LED lamps, modules and luminaires.
5. The photometry and goniophotometry of luminaires, CIE Publication 121, 1996.
6. [http://us.flukecal.com/products/data-acquisition-and-test-equipment/data-acquisition/netdaq-networked-data-acquisition-unit?quicktabs\\_product\\_details=2](http://us.flukecal.com/products/data-acquisition-and-test-equipment/data-acquisition/netdaq-networked-data-acquisition-unit?quicktabs_product_details=2).
7. The measurement of absolute luminous intensity distribution, CIE Publication 70, 1987.
8. Konica Minolta, Luminance Meter LS110.
9. Techno Team, Luminance and color measuring camera LMK 98–3 Color.
10. TechnoTeam. Retrieved 24 November 2014, from [http://www.technoteam.de/product\\_overview/rigo801/products/index\\_eng.html](http://www.technoteam.de/product_overview/rigo801/products/index_eng.html).
11. CIE International Standard S025/E:2015 Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules.
12. UNI CEI ENV 13005:2000 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.
13. Cree. Retrieved 24 November 2014, from <http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Discrete-Directional/XLamp-XPE>.

## От редакции

В переводе статьи А. Росато и др. термин «*imaging luminance measurement device*» переведён как «фотояркоммер». Ранее общепринятый вариант этого термина «*imaging luminance meter*» переводился в журнале, как «яркоммер на приборах с зарядовой связью (яркоммер на ПЗС, ПЗС-яркоммер)», что, будучи верно применительно к конкретным приборам, несколько сужает сферу действия русскоязычного термина. В ГОСТ 55707–2013 «Освещение наружное утили-

тарное. Методы измерений нормируемых параметров» используется термин «цифровой яркоммер: Измерительный оптико-электронный прибор с ПЗС матрицей для получения изображения измеряемого поля с распределением яркости», который в отрыве от определения является слишком всеобъемлющим. Что касается термина «фотояркоммер», образованного по аналогии с термином «фотоаппарат», то он, на наш взгляд, правильно отражает принцип действия прибора, не ограничивая его определённым типом приёмника. Редакция просит читателей журнала сообщить своё мнение по этому вопросу по адресу: [journal.svetotekhnika@mail.ru](mailto:journal.svetotekhnika@mail.ru).



**Антонио Росато (Antonio Rosato),**

*Ph.D. Доцент факультета архитектуры и промышленной эстетики «Luigi Vanvitelli» Второго неапольского университета*



**Серджи Сибиллио (Sergio Sibilio),**

*Ph.D. Профессор факультета архитектуры и промышленной эстетики «Luigi Vanvitelli» Второго неапольского университета, научный координатор*

*научно-исследовательской группы E3 «Энергоэффективность и окружающая среда»*



**Микеланджело Скорпио (Michelangelo Scorpio),**

*Ph.D. Научный сотрудник строительного факультета Университета Сканио. Текущая область деятельности:*

*окна, обеспечивающие зрительный комфорт и энергобережение*



**Джованни Чампи (Giovanni Ciampi),**

*Аспирант факультета архитектуры и промышленной эстетики «Luigi Vanvitelli» Второго неапольского университета*

## На ВДНХ воссоздано историческое освещение

Весной 2014 г. Правительство Москвы приступило к реализации масштабного проекта возрождения Выставки достижений народного хозяйства (ВДНХ), приуроченного к её 75-летию. Когда осенью 2016 г. очередь дошла до системы освещения, выяснилось, что



на территории комплекса сохранились фонари, выполненные в стиле сталинского ампира, но почти все в аварийном состоянии.

Так, уникальные светильники отраженного света 1950-х годов, расположенные около центральных павильонов, до реставрации не горели и были похожи скорее на обветшалые колонны. У фонарей отсутствовали отдельные детали, поэтому, чтобы достоверно восстановить кронштейны, цоколи и светильники, архитекторам пришлось изготовить утраченные фрагменты по архивным материалам – чертежам и фотографиям.

В советское время в фонарях использовались люминесцентные лампы. Им на замену были установлены современные светодиодные светильники *IntiLED* серии «*IntiTUBE*» длиной 130 см, по 9 шт. на каждую колонну, а также светильники серии «*IntiSPOT*» – для короны. Теперь, как и на старых фотографиях, можно наблюдать «свечу» фонаря, которая горит целиком нейтральным белым светом, а скрытые за кожухом светильники «*IntiTUBE*» располагаются вертикально по всей высоте столба, оставаясь при этом незаметными. Всего было реконструировано 46 фонарей.

Разработка концепции, поставка, монтаж: компания «Брайтлэк».

[www.lightrussia.ru](http://www.lightrussia.ru)  
12.02.2017

# Нейросетевое моделирование зависимости цветовой температуры освещения от источника света и оптической системы светильника<sup>1</sup>

А. ЕРСОЙ ЙЫЛМАЗ

Стамбульский университет, Стамбул, Турция  
E-mail: aersoy@istanbul.edu.tr

## Аннотация

Непрерывный рост потребности в энергии и связанные с этим проблемы с ресурсами привели к необходимости подробно рассмотреть привычное потребление энергии. Существенная часть (в настоящее время, примерно 20 %) общего потребления энергии приходится на освещение жилищ, рабочих мест, улиц и дорог. В прошлом освещение, в основном, использовалось для улучшения видимости и безопасности, однако в настоящее время большое значение придаётся ещё и эффективности и эстетичности освещения, что привело к большому разнообразию имеющихся на рынке ламп. Для проведения данного исследования были выбраны широко распространённые лампы накаливания (ЛН), компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) и светодиодные лампы (СДЛ). Для имитации различных типов осветительной арматуры были выбраны прозрачные стеклянные призмы разной толщины и формы. Вначале в лабораторных условиях были измерены коррелированные цветовые температуры ( $T_u$ ) ЛН, КЛЛ и СДЛ. Цель данного исследования состояла в формировании искусственной нейронной сети (ИНС) для определения  $T_u$  на основе полученных входных данных. Сравнение экспериментальных и расчётных значений  $T_u$  показало, что ис-

пользувавший метод расчёта вполне подходит для данных этого типа.

**Ключевые слова:** коррелированная цветовая температура, искусственная нейронная сеть, освещение жилищ, яркость, лампа.

## 1. Введение

Освещение, требующееся во многих областях, является и одной из основных потребностей людей. Исследования, проведённые в областях медицины и техники, показали, что освещение оказывает на людей психологическое воздействие [1–4], в связи с чем это воздействие часто используется для манипулирования чувствами людей в торговых целях. Магазины, особым образом освещающие предлагаемые товары, делают эти товары привлекательными для покупателей [5]. Аналогичным образом можно изменить восприятие людей, осветив подходящим образом наблюдаемую ими сцену. Большое влияние в этом случае оказывают цвет<sup>2</sup> освещения, а также  $T_u$  излучаемого света [4–10]. Простейшим способом измерения цвета источника света является определение его  $T_u$ .  $T_u$  описывает «внешний вид» света, излучаемого источником света.  $T_u$  излучателя – это температура чёрного тела, при котором цвет его излучения совпадает с цветом излучения этого излучателя.<sup>3</sup> Эта температура измеряется в градусах Кельвина (К) [10]. Цвета

искусственных источников света разделяются в соответствии со своей  $T_u$  на три основных класса: горячие цвета, которым соответствуют  $T_u$  ниже 3300 К, тёплые цвета, которым соответствуют  $T_u$  от 3300 до 5500 К, и холодные цвета, которым соответствуют  $T_u$  выше 5500 К. В этой классификации горячие цвета лежат в красной области спектра, тогда как холодные цвета лежат в синей области спектра [9, 10]. Для наилучшей демонстрации товаров и увеличения объёма продаж полки с хлебопекарной продукцией, полки с овощами и фруктами и полки с мясом освещаются светом с  $T_u$  от 3000 до 4000 К, полки с напитками – светом с  $T_u$  от 4000 до 6000 К, а полки с молочными продуктами – светом с  $T_u$ , равной примерно от 4000 К [9].

Проведённое в Турции исследование источников света, используемых в торговых центрах, показало, что при высоком уровне освещённости и низкой  $T_u$  освещаемый участок выглядит искусственным и захолустным [5]. В аналогичном исследовании жилых районов было установлено, что для зон отдыха требуется освещение с низкой  $T_u$  [8, 8a]. Гостиные, используемые продолжительное время, должны освещаться светом с низкой  $T_u$ , а не белым, светлоголубым или другим светлым светом с высокой  $T_u$ . Общий вывод состоит в том, что  $T_u$  следует выбирать таким образом, чтобы улучшить зрительный комфорт [8–12].

Цель данного исследования состояла в исследовании и моделировании влияния осветительной арматуры на характеристики источника света. Для этого были выбраны наиболее широко используемые в жилых помещениях источники света: лампа накаливания (ЛН), компактная люминесцентная лампа (КЛЛ) и светодиодная лампа (СДЛ). Вначале в экспериментальной установке были измерены создаваемые этими лампами уровни освещения, а также яркости<sup>4</sup> и  $T_u$  этих ламп.

<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

<sup>2</sup> Автор везде говорит о «цвете», что сохранено в переводе, даже если речь идёт о белом свете – Прим. пер.

<sup>3</sup> Автор почему-то заменила приведённое в Международном светотехническом словаре определение коррелированной цветовой температуры (температура излучателя Планка (чёрного тела), имеющего координаты цветности, наиболее близкие к координатам цветности, соответствующим заданному спектральному распределению на диаграмме, на которой линия чёрного тела и тестируемый стимул представлены в координатах  $u', \frac{2}{3}v', \dots$ ) на собственное. – Прим. пер.

<sup>4</sup> Автор использует термин «brightness» («светлота»). Однако светлота является чисто качественной характеристикой и не имеет никакой единицы измерения. В  $\text{кд}/\text{м}^2$  измеряется яркость, которая и рассматривается в этой статье, в связи с чем здесь и в дальнейшем «brightness» переводится как «яркость». – Прим. пер.

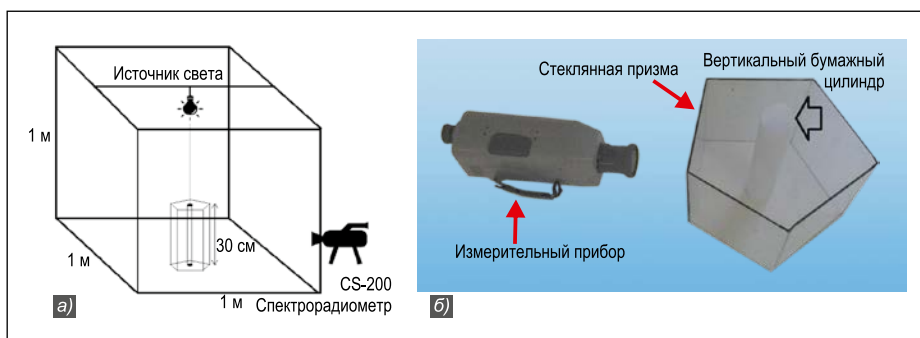


Рис. 1. Измерительное оборудование: а – экспериментальная установка для измерения яркости и  $T_u$ ; б – фотография внутренней части экспериментальной установки

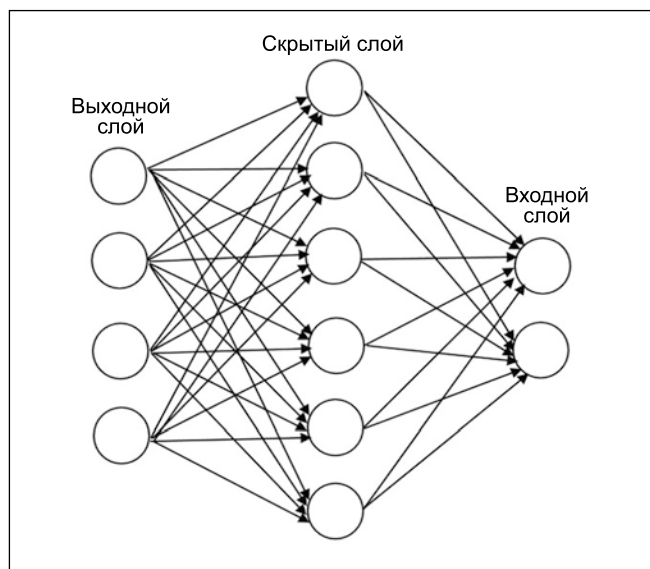


Рис. 2. Структура ИНС

При исследовании влияния осветительной арматуры (стеклянных призм) на излучение находящегося внутри неё источника света, свет направляли на белый бумажный цилиндр, и проводили измерение характеристик света, отражённого от цилиндра на арматуру.

На следующем этапе было исследовано влияние имеющих одинаковые свойства стеклянных оболочек разной формы (треугольная, прямоугольная и пятиугольная призмы) и с разной толщиной стенок (2 и 4 мм), которые имитировали разные типы осветительной арматуры. С использованием экспериментальных данных, таких как яркость и  $T_u$ , была проведена отладка искусственной нейронной сети (ИНС), что позволило выполнить успешные расчёты этих параметров при разных форме и толщине стенок стеклянных оболочек.

## 2. Материалы и система

Для проведения данного исследования были выбраны лампы, наиболее

часто используемые для освещения жилищ. Вначале была использована ЛН мощностью 28 Вт с  $T_u = 2800$  К. На следующем этапе была использована КЛЛ белого света мощностью 23 Вт с  $T_u = 6500$  К. И наконец, была использована СДЛ мощностью 4,8 Вт с  $T_u = 4000$  К. До начала эксперимента все лампы отжигали в течение как минимум 100 ч для обеспечения нормального режима их работы. Измерительное оборудование показано на рис. 1, а. При измерении светотехнических характеристик поступающий через двери и окна дневной свет может повлиять на точность результатов измерений, так что все эксперименты проводили в светонепроницаемой камере с размерами  $100 \times 100 \times 100$  см, которая была по меньшей мере в 10 раз больше источников света. Измерения  $T_u$  и яркости источника света проводились с учётом отражения, поглощения и пропускания света, для чего был использован белый бумажный цилиндр диаметром 10 см. Измерения проводили в центре вертикальной поверхности (рис. 1,

б) при помощи спектро радиометра *Konica-Minolta CS-200 Chroma Meter*. Прибор имел апертурный угол  $0,1^\circ$ , что позволяло выделить любой объект в освещаемой лампой области и измерить светотехнических характеристики даже очень маленьких участков. Результаты измерений поступали на компьютер, в котором они анализировались и отображались графически при помощи программы *CS-S10w*. Первоначально измерения проводили только применительно к бумажному цилиндру, однако на следующем этапе эти же измерения были проведены с использованием специально изготовленных стеклянных призм. Были использованы треугольные, прямоугольные и пятиугольные призмы размером  $30 \times 30$  см, изготовленные из листового стекла толщиной 2 и 4 мм. Лабораторные условия, при которых проводились измерения, поддерживались постоянными, и для каждого из вариантов измерения повторяли по меньшей мере 5 раз.

### Искусственная нейронная сеть

Искусственная нейронная сеть (ИНС), построенная по принципу организации и функционирования нервной системы человека и, тем самым, имитирующая возможности мозга человека в части обучения и принятия решений, используется для обработки данных в искусственно созданных системах. Этот метод применяется в случаях, когда классические методы решения задач оказываются недостаточными или не позволяют получить удовлетворительные результаты. ИНС применяют для решения задач прогнозирования и оптимизации, используя при этом их нелинейность и способность восполнения недостающих данных [13–15]. ИНС обычно включают в себя три слоя, которые называют входным слоем, скрытым слоем и выходным слоем (рис. 2). Первый слой содержит входные данные задачи, системы или процесса. Так что количество нейронов (узлов) совпадает с количеством входных данных. Количество нейронов в последнем слое равно ожидаемому количеству выходных данных. Между этими двумя слоями расположен третий, наиболее важный слой ИНС, количество нейронов в котором зависит от типа задачи, преследуемой цели и метода применения ИНС. Нет никаких чётких указаний по выбо-

Яркости и  $T_u$  исследовавшихся источников света

Источник света	ЛН	СД	КЛЛ
Яркость, кд, м <sup>2</sup>	1,82	9,69	7,82
$T_u$ , К	2992	4375	6980

Таблица 2

Измеренные в разных условиях яркости и  $T_u$  в случае ЛН

Толщина стекла, мм	Тип призмы	Яркость, кд/м <sup>2</sup>	$T_u$ , К
0	-	1,55	2425
2	Треугольная	2,01	3076
	Прямоугольная	2,08	3225
	Пятиугольная	2,16	3730
4	Треугольная	1,98	2843
	Прямоугольная	2,06	3212
	Пятиугольная	2,14	3714

Таблица 3

Измеренные в разных условиях яркости и  $T_u$  в случае СДЛ

Толщина стекла, мм	Тип призмы	Яркость, кд/м <sup>2</sup>	$T_u$ , К
0	-	6,99	3604
2	Треугольная	7,35	4219
	Прямоугольная	7,66	4294
	Пятиугольная	7,73	4316
4	Треугольная	7,05	4208
	Прямоугольная	7,17	4279
	Пятиугольная	7,30	4301

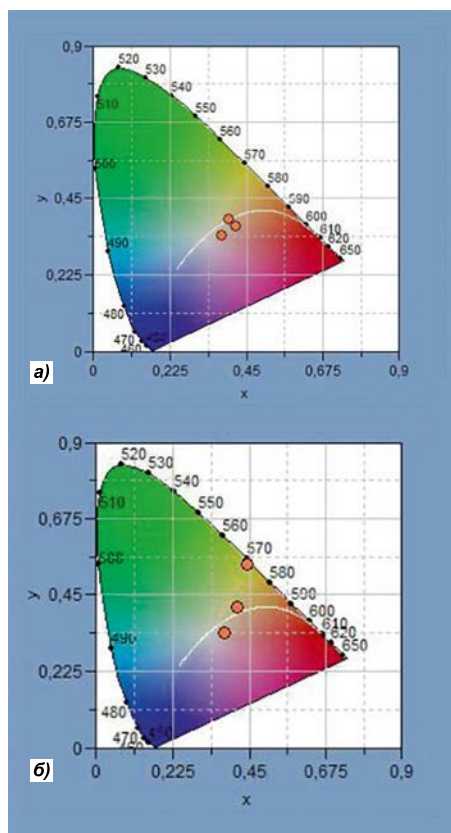


Рис. 3. Результаты, полученные при использовании ЛН: а – без призмы и с пятиугольной призмой с толщиной стенок 2 мм; б – без призмы и с пятиугольной призмой с толщиной стенок 4 мм

ру количества нейронов в этом слое. Выбор требуемого количества нейронов осуществляется пользователем на основании своего опыта, применения метода проб и ошибок и тщательного анализа решаемой задачи [15].

В этом исследовании использовалась ИНС прямого распространения. Сети прямого распространения характеризуются односторонней связью между входным и выходным слоями. Они наиболее часто используются для прогнозирования, распознавания образов и аппроксимации нелинейных функций. В этом исследовании в качестве обучающего использовался алгоритм Левенберга-Марквардта, математическое представление которого приведено ниже.

$$F(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m [f_i(x)]^2. \quad (1)$$

### 3. Результаты

При проведении исследований в первую очередь были измерены яркости и  $T_u$  ламп. Данные, полученные

после 100-часового отжига ламп, приведены в табл. 1. В результате было установлено, что наиболее ярким оказалась СДЛ, а наименее яркой – ЛН. Сравнение  $T_u$  использовавшихся в данном исследовании источников света показало, что наибольшую  $T_u$  имела КЛЛ, а наименьшую – ЛН.

В камеру для проведения экспериментов был помещён бумажный цилиндр диаметром 10 см, расположенный внутри призмы, имеющих разные форму и толщину стенок. В этих условиях были проведены измерения яркости и  $T_u$  поверхности цилиндра при освещении его ЛН (табл. 2). Наибольшая яркость была получена в случае пятиугольной призмы с толщиной стенок 2 мм, а наименьшая – при от-

сутствии призм. При увеличении толщины стенок призмы от 2 до 4 мм яркость уменьшалась на 1,5 % в случае треугольной призмы, на 0,96 % в случае прямоугольной призмы и на 0,93 % в случае пятиугольной призмы. Наибольшая  $T_u$  также была получена в случае пятиугольной призмы с толщиной стенок 2 мм, а наименьшая – при отсутствии призм. При увеличении толщины стенок призмы от 2 до 4 мм  $T_u$  уменьшалась на 7,57 % в случае треугольной призмы, на 0,40 % в случае прямоугольной призмы и на 0,43 % в случае пятиугольной призмы. На рис. 3 приведён график цветностей, на котором отражены цветовые температуры, полученные применительно к ЛН при отсутствии призм

Измеренные в разных условиях яркости и  $T_u$  в случае КЛЛ

Толщина стекла, мм	Тип призмы	Яркость, кд/м <sup>2</sup>	$T_u$ , К
0	-	8,1	6248
2	Треугольная	9,57	6368
	Прямоугольная	10,38	6381
	Пятиугольная	10,83	6502
4	Треугольная	9,1	6305
	Прямоугольная	9,43	6357
	Пятиугольная	10,43	6475

и при использовании пятиугольной призмы с толщиной стенок 2 мм (рис. 3, а) и 4 мм (рис. 3, б). На обоих рисунках третья точка соответствует среднему значению  $T_u$ , определённого применительно к результатам, представленным на том же графике.

Значения яркости и  $T_u$ , измеренные в той же экспериментальной установке после замены ЛН на СДЛ, приведены в табл. 3. Результаты измерений, проведённых применительно к распо-

ложенному внутри призмы бумажному цилиндру, демонстрируют увеличение яркости и  $T_u$  во всех исследованных вариантах. Самый высокий уровень яркости был зарегистрирован в случае пятиугольной призмы с толщиной стенок 2 мм, а самый низкий уровень — при отсутствии призмы. Увеличение толщины стенок призмы от 2 до 4 мм отрицательно сказалось на результатах измерения яркости, которая уменьшилась на 2–6 %. Самая высокая  $T_u$  также была зарегистрирована в случае пятиугольной призмы с толщиной стенок 2 мм, а самая низкая — при отсутствии призмы. Увеличение толщины стенок призмы от 2 до 4 мм привело к уменьшению  $T_u$  на 0,26, 0,35 и 0,35 % в случаях треугольной, прямоугольной и пятиугольной призм соответственно. На рис. 4 приведены результаты измерений  $T_u$  при использовании белого цилиндра и СЛД в случаях отсутствия призмы и наличия пятиугольной призмы с толщиной стенок 2 и 4 мм. Как и ранее, третья точка на графике соответствует среднему значению  $T_u$ .

Значения яркости и  $T_u$ , измеренные при использовании КЛЛ, приведены в табл. 4. В этих условиях, как и в остальных случаях, самые высокие значения яркости и  $T_u$  были получены в случае пятиугольной призмы с толщиной стенок 2 мм, а самый низкий уровень — при отсутствии призмы. При увеличении толщины стенок призмы от 2 до 4 мм яркость бумажного цилиндра увеличилась на 3–9 %, а  $T_u$  уменьшилась на 0,99, 0,38 и 0,42 % в случаях треугольной, прямоугольной и пятиугольной призм соответственно. На рис. 5 приведён график цветностей, на котором отражены результаты измерений, про-

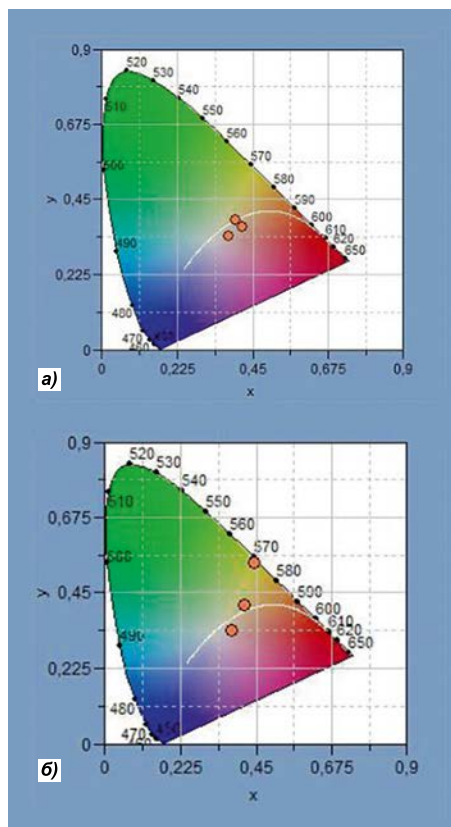


Рис. 4. Результаты, полученные при использовании СДЛ: а – без призмы и с пятиугольной призмой с толщиной стенок 2 мм; б – без призмы и с пятиугольной призмой с толщиной стенок 4 мм

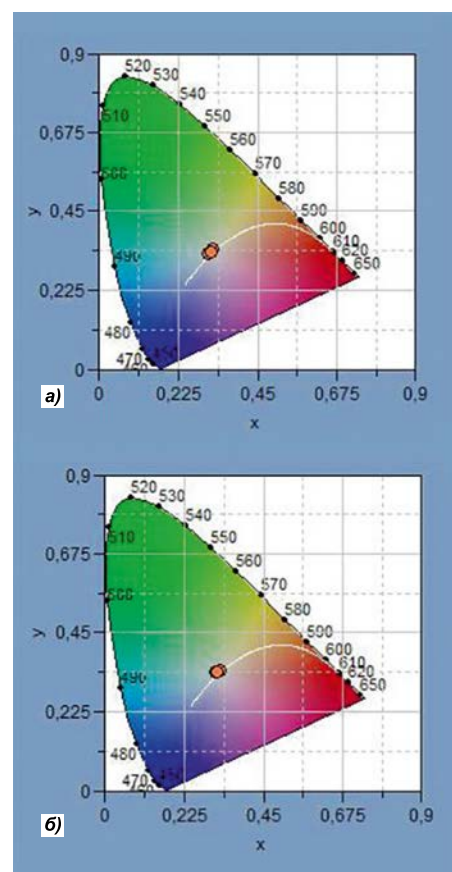


Рис. 5. Результаты, полученные при использовании КЛЛ: а – без призмы и с пятиугольной призмой с толщиной стенок 2 мм; б – без призмы и с пятиугольной призмой с толщиной стенок 4 мм

ведённых применительно к бумажному цилиндру и КЛЛ при отсутствии призм и при использовании пятиугольной призмы с толщиной стенок 2 и 4 мм.

Условия проведения эксперимента с участием ЛН были использованы при моделировании методом ИНС. При этом ИНС должна была спрогнозировать значения  $T_u$ . Рассчитанные при помощи ИНС значения  $T_u$  приведены в табл. 5. При сравнении этих расчётных значений  $T_u$  с результатами измерений было получено, что наибольшая, равная 11,85% погрешность имела место в случае прямоугольной призмы с толщиной стенок 2 мм. Однако в случае прямоугольной призмы с толщиной стенок 4 мм ИНС смогла

<sup>5</sup> Автор явно ошиблась при проведении расчётов, т.к. если определять погрешность относительно измеренного значения  $T_u$ , то она будет равна  $(3670-3225) \cdot 100 / 3225 = 13,80\%$ . А по отношению к расчётному значению  $T_u$  погрешность будет равна 12,12 %. — Прим. пер.

предсказать  $T_u$  точно (расхождение составило менее чем 0,024 %).

Значения  $T_u$ , рассчитанные при помощи ИНС с использованием экспериментальных данных, полученных применительно к СДЛ, приведены в табл. 6. При сравнении этих расчётных значений  $T_u$  с результатами измерений было получено, что наибольшая, равная 6,66 % погрешность имела место в случае треугольной призмы с толщиной стенок 2 мм. В этих условиях ИНС смогла точно предсказать значение  $T_u$  при отсутствии призмы.

На последнем этапе ИНС была использована для прогнозирования  $T_u$  применительно к КЛЛ (табл. 7). При сравнении этих расчётных значений  $T_u$  с результатами измерений было получено, что наибольшая, равная 3,92 % погрешность имела место в случае пятиугольной призмы с толщиной стенок 4 мм, а наименьшая (0,012 %<sup>6</sup>) – в случае треугольной призмы с толщиной стенок 4 мм.

#### 4. Выводы

Экспериментальное исследование влияния формы и толщины стеклянной оболочки на яркость и  $T_u$  освещаемого участка было проведено с использованием стеклянных призм трёх разных конфигураций с двумя толщинами стенок и трёх источников света разных типов. Результаты этих экспериментальных исследований и проведённого моделирования позволили сделать следующие выводы:

- Наличие призмы приводит к увеличению яркости и  $T_u$  белого цилиндра при использовании ламп всех типов.

- Для ламп всех типов измеренные значения яркости и  $T_u$  увеличиваются при увеличении количества углов призмы. Это обусловлено увеличением количества отражаемого в центр призмы света.

- Толщина стекла влияет на распределение света, и её увеличение приводит к уменьшению яркости и  $T_u$ .

- Прогнозы, сделанные при помощи ИНС, подтверждают результаты экспериментов с участием ЛН и СДЛ, которые говорят о том, что использование стеклянной призмы приводит к увеличению  $T_u$ . В случае КЛЛ этот вывод неверен.

<sup>6</sup> Опять ошибка:  $(6305-6297) \cdot 100/6305 = 0,13\%$ . – Прим. пер.

Таблица 5

Значения  $T_u$ , рассчитанные при помощи ИНС в случае ЛН

Толщина стекла, мм	Тип призмы	Измеренная $T_u$ , К	$T_u$ , рассчитанная при помощи ИНС, К
0	-	2425	2427
2	Треугольная	3076	3413
	Прямоугольная	3225	3670
	Пятиугольная	3730	3718
4	Треугольная	2843	2844
	Прямоугольная	3212	3212
	Пятиугольная	3714	3706

Таблица 6

Значения  $T_u$ , рассчитанные при помощи ИНС в случае СДЛ

Толщина стекла, мм	Тип призмы	Измеренная $T_u$ , К	$T_u$ , рассчитанная при помощи ИНС, К
0	-	3604	3604
2	Треугольная	4219	4500
	Прямоугольная	4294	4341
	Пятиугольная	4316	4311
4	Треугольная	4208	4203
	Прямоугольная	4279	4271
	Пятиугольная	4301	4293

Таблица 7

Значения  $T_u$ , рассчитанные при помощи ИНС в случае КЛЛ

Толщина стекла, мм	Тип призмы	Измеренная $T_u$ , К	$T_u$ , рассчитанная при помощи ИНС, К
0	-	6248	6471
2	Треугольная	6368	6290
	Прямоугольная	6381	6324
	Пятиугольная	6502	6288
4	Треугольная	6305	6297
	Прямоугольная	6357	6148
	Пятиугольная	6475	6221

• Прогнозы, сделанные при помощи ИНС, подтверждают результаты экспериментов с участием ЛН и СДЛ, которые говорят о том, что увеличенные количества углов призмы приводит к увеличению  $T_u$ . В случае КЛЛ этот вывод неверен.

• Прогнозы, сделанные при помощи ИНС, подтверждают результаты экспериментов с участием ламп всех типов, которые говорят о том, что увеличение толщины стенок призмы приводит к уменьшению  $T_u$ .

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что имеющая меньшую толщину стенок призма с бесконечным количеством углов способна привести к увеличению яркости и  $T_u$  освещаемого участка. Защитные стёкла, используемые в настоящее время в продаваемых в розницу изделиях, имеют бесконечное количество углов. Так что при выборе лампы следует учитывать назначение и особенности освещаемой области, с тем чтобы обеспечить требуемые значения яркости и  $T_u$ . Кроме того, было установлено, что применённая в этом исследовании ИНС позволила успешно прогнозировать значения  $T_u$ .

Автор благодарит проф. д-ра Мукдена Югора (*Mukden Ugur*) и Омера Озгура Бозкурта (*Ömer Özgür Bozkurt*) за ценную помощь при проведении лабораторных измерений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Entwistle, J.* Hotels Designing with Light, RotoVision, 2000, 160 p.
2. *Utlu, Z., Hepbasli, A.* A study on the evaluation of energy utilization efficiency in the Turkish residential – commercial sector using energy and exergy analyses // *Energy and Buildings*. – 2003. Vol. 35< No. 11. – P. 1145–1153.
3. *de Craen, A.J., Roos, P.J., de Vries, A.L., Kleijnen, J.* Effect of colour of drugs: systematic review of perceived effect of drugs and of their effectiveness // *BMJ (Clinical Research ed)*. – 1996. – Vol. 313, No. 7072. – P. 1624–1626.
4. *Manav, B., Güler, Ö., Onaygil, S., Küçükdoğan, M.Ş.* A Research on Office Workers' Color Preferences: Five Color Samples Under Six Lighting Alternatives // *Arkitekt*. – 2009. – Vol. 520–522. – P. 22–31.
5. *Sakarya, I.* Teknik ve Estetik Yönden Aydınlatmanın, Alışveriş Merkezlerindeki Mekan Tasarımına Etkileri, MSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Graduate Thesis, 1997, 198 p.
6. *Aykal, D.F. Gümüş, B., Ünver, R., Murat, Ö.* An Approach in Evaluation of Re-Func-

tioned Historical Buildings in view of Natural Lighting, A Case Study in Diyarbakir Turkey // *Light and Engineering*. – 2011. – Vol. 19, No. 2. – P. 64–76.

6а. *Айкал Ф.Д., Гюмюс Б. Юнвер Р., Мурт Е.* Оценка естественного освещения исторических зданий при изменении их функционального назначения // *Светотехника*. – 2011. – № 2. – С. 53–59.

7. *Turner, J.* Retail Spaces: Lighting Solutions for Shops, Malls and Markets (Designing with Light). RotoVision, 1998, 160 p.

8. *Erkin, E., Onaygil, S., Güler, Ö.* Energy Saving by Compact Fluorescent Lamps in the Residences Considering User Satisfaction // *Light&Engineering*. – 2008. – Vol. 16, No. 1.

8а. *Гюлер Э., Еркин Е., Онайгул С.* Использование компактных люминесцентных ламп с учётом мнений потребителей // *Светотехника*. – 2008. – № 3. – С. 40–43.

9. *Code for Lighting*, Butterworth-Heinemann, 2002, 130 p.

10. *DiLaura, D., Houser, K., Mistrick, R., Steffy, G.R.* The IESNA lighting handbook. Illuminating Engineering Society, 2011, 1087 p.

11. *Öztürk, B., Ersoy Yılmaz, A., Ugur, M.* Aydınlatma Elemanlarının Parametrelerinin Yaşlanmaya Bağlı Değişimi // *3e Electrotech*. – 2011. – Vol. 201. – P. 190–200.

12. *Özbudak, B. Y., Gümüş, B., Çetin, F.D.* İç Mekan Aydınlatmasında Renk ve Aydınlatma Sistemi İlişkisi // *II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Ve Sergisi Bildirileri*, Diyarbakır. 2003.

13. *Çolak, N., Onaygil, S.* Prediction of the Artificial Illuminance Using Neural Networks // *Lighting Research & Technology*. – 1999. – Vol. 31, No. 2. – P. 63–66.

14. *Sevgen, S., Şamli, R., Sivri, N., Kiremitçi, V.Z.* Applying Artificial Neural Networks For The Estimation Of Chlorophyll-A Concentrations Along The Istanbul Coast // *Polish Journal Of Environmental Studies*. – 2014. – No. . – P. 1281–1287.

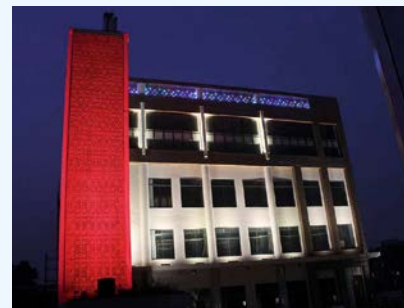
15. *Kartalapolous, S.V.* Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic: Basic Concepts and Applications, Wiley-IEEE Press, 1995, 232 p.



**Айсел Ерсой Йылмаз (Aysel Ersoy Yilmaz), Ph.D.**  
(2007 г.). Доцент факультета электротехники и электроники Стамбульского университета. Автор более 30-ти научных работ

## Первый проект BL GROUP в Индии

Компания **BL TRADE INDIA PRIVATE LIMITED**, дочернее предприятие холдинга БЛ ГРУПП в Ин-



дии, успешно реализовала свой первый проект. В декабре 2016 года в Нью-Дели специалистами компании был осуществлен монтаж оборудования на объекте, очень популярном гольф-клубе **GATSBY CLUB**, и настройка цветоцветовых сценариев. Специально по заказу владельцев ООО «СветоПроект» (холдинг БЛ ГРУПП) разработали дизайн архитектурно-художественной подсветки нового здания и прилегающей территории клуба.

Шефмонтаж и пусконаладочные работы осуществляли руководитель проектов департамента развития стратегических и международных проектов ООО Управляющая компания «БЛ ГРУПП» Андрей Ушаков, ведущий инженер-проектировщик Александр Фотин и инженер-проектировщик Иван Трошкин, отдел проектирования и дизайна ООО «СветоПроект».

С учетом индийских климатических условий для данного проекта специалисты Холдинга специально разработали и собрали на Лихославльском заводе «Светотехника» (Тверская область) светильники **GALAD Альтаир LED** и **GALAD Авра LED** в тропическом исполнении.

Тестовый монтаж всех приборов в единую осветительную установку и настройка системы управления также были выполнены в России. После чего оборудование было отправлено в Индию непосредственному заказчику.

В процессе выполнения работ заказчики подробно вникали в каждую деталь проекта и были впечатлены дизайном, техническими характеристиками и качеством оборудования **GALAD**.

www.bl-g.ru  
10.01.2017



# Моделирование спектра излучения светильника с дихроичным светофильтром при помощи метода спектральной трассировки лучей<sup>1</sup>

Г. ДЮРИНК, Ф.Б. ЛЕЛУП, Я. ОДЕНАЕР, П. ХАНСЕЛАЕР

Светотехническая лаборатории Католического университета Лувена, Гент, Бельгия  
E-mail: guy.durinck@kuleuven.be

## Аннотация

Трассировка лучей является полезным инструментом проектирования оптической части светильника. При этом моделирование обычно проводят применительно к одной длине волны. Однако в некоторых светильниках имеются оптические элементы, способные изменить спектр излучения источника света. В торговых помещениях широко используются светильники с дихроичными светофильтрами, способные усилить привлекательность продуктов. В данной работе спектральная трассировка лучей используется для моделирования спектрального распределения силы излучения такого светильника. В качестве входных параметров используются геометрическая модель светильника, спектральное распределение излучения лампы и спектральные коэффициенты отражения и пропускания отражателя и светофильтра. Для нескольких углов излучения проведено сравнение полученных посредством моделирования спектральных распределений силы излучения с экспериментальными данными, продемонстрировавшее очень хорошее совпадение результатов. Кроме того, моделирование при помощи трассировки лучей позволяет получить подробную информацию о влиянии переотражения света в светильнике на спектр излучения.

**Ключевые слова:** спектральная трассировка лучей, освещение торговых помещений, оптическое моделирование.

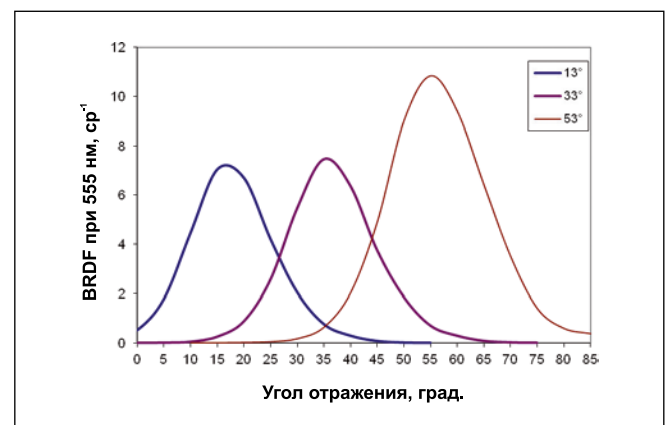
## 1. Введение

Трассировка лучей методом Монте-Карло часто используется в качестве инструмента для оценки характе-

ристик оптических систем и виртуальных прототипов светильников [1–3]. Во многих случаях оптические характеристики материалов светильников более или менее независимы от длины волны, что позволяет проводить трассировку лучей применительно к одной длине волны, значительно сокращая тем самым время моделирования. Однако в конструкциях некоторых светильников специального назначения заложено изменение спектра излучения источника света одной или несколькими деталями светильника. Типичным примером служит освещение торговых помещений, в которых применяются как традиционные источники света с цветными светофильтрами, так и специальные полупроводниковые источники света. Документально подтверждено, что привлекательность пищевых продуктов сильно зависит от их внешнего вида и что одним из наиболее важных зрительных ориентиров служит воспринимаемый цвет продукта [4]. В частности, если свежее мясо и некоторые виды имеющей тёмный цвет свежей рыбы освещаются светом, в котором преобладает красная составляющая, то покупатели воспринимают их как более привлекательные [5, 6]. При компьютерном моделировании оптических характеристик снабжённых

светофильтрами светильников для освещения пищевых продуктов следует учитывать влияние, оказываемое на спектр излучения светильника как источником света, так и оптическими элементами и светофильтром. Поэтому осуществляемое при помощи трассировки лучей моделирование подобного прибора должно производиться с учётом всей видимой части спектра излучения источника света. Здесь рассмотрен светильник для освещения мясных продуктов *Flexio* компании *LUNOO NV*, содержащий 100-ваттную лампу *Philips SDW-T 100W* и дихроичный светофильтр. Этот светофильтр был специально разработан для того, чтобы вместе с лампой *SDW-T* освещать мясные продукты. Интерференционные светофильтры лучше основанных на поглощении света цветных светофильтров в том отношении, что в них практически нет потерь светового потока. Однако типичным недостатком этих светофильтров является зависимость спектрального коэффициента пропускания от угла падения света. Как следствие, спектр излучаемого светильником света зависит от угла излучения. При малых углах излучения это не очень заметно, тогда как при больших углах излучения сдвиг цвета становится заметным для глаза. В данной работе спектральное распределение силы излучения светильника измерялось при помощи гониофотометра для разных углов излучения, и для этих же углов излучения оно рассчитывалось посредством трассировки лучей методом Монте-Карло. При моделировании учитывались отражательные характеристики поверхности отражателя и зависимость от угла падения спектральных коэффициентов отражения и пропускания интерференционного светофильтра. Разрядная лампа модели-

Рис. 1. Зависимость  $BRDF$  материала отражателя от угла отражения для длины волны 555 нм и углов падения 13, 33 и 53°



<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

Рис. 2. Зависимость  $BRDF$  материала отражателя от длины волны для угла падения  $53^\circ$  и угла отражения  $75^\circ$

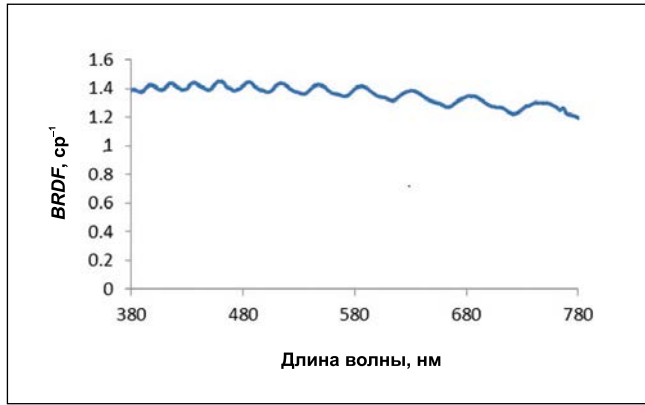
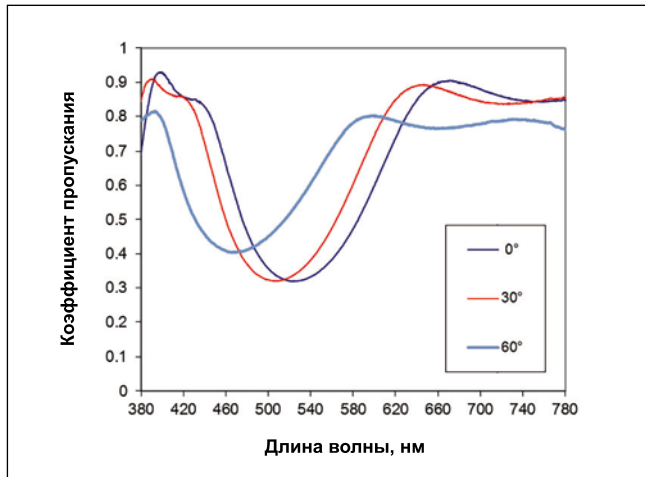


Рис. 3. Зависимость коэффициента пропускания интерференционного светофильтра от длины волны для углов падения  $0, 30$  и  $60^\circ$



ривалась при помощи сравнительно простой геометрической модели. Помимо прочего, было исследовано влияние переотражения отражателем света (*light recycling*), который перед этим был отражён интерференционным светофильтром.

## 2. Экспериментальная установка и измерения

Поверхность отражателя рассеивает свет в пределах широкого угла вокруг направления зеркального отражения. Для реалистичной трассировки лучей следует с высокой точностью смоделировать угловые характеристики отражения света [7, 8]. Отражательные свойства поверхности математически описывают при помощи двунаправленной функции распределения отражения ( $BRDF$ ), которая представляет собой отношение бесконечно малого приращения энергетической яркости облучаемого образца в заданном направлении наблюдения  $dE_{e,s}$  к бесконечно малому приращению облучённости образца падающим на него с заданного направления излучением  $dE_{e,i}$  (уравнение 1). Индекс  $e$  указывает на то, что это радиометрическая,

а не фотометрическая характеристика, а индексы  $i$  и  $s$  обозначают, соответственно, падающее и отражённое излучение. Так как отражение света поверхностью может зависеть от длины волны, то  $BRDF$  является функцией пяти переменных: сферических координат  $\theta_s$  и  $\phi_s$ , описывающих направление отражения света относительно нормали к поверхности, сферических координат  $\theta_i$  и  $\phi_i$ , описывающих направление падения света, и длины волны  $\lambda$ :

$$BRDF(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s, \lambda) = \frac{dL_{e,s}(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s, \lambda)}{dE_{e,i}(\theta_i, \phi_i, \lambda)}, \text{ ср}^{-1}, \quad (1)$$

В рассматриваемом случае общая формула (1) для расчёта  $BRDF$  преобразуется в:

$$BRDF(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s, \lambda) = \frac{\Phi_{e,s}}{\Phi_{e,i} \cdot \Omega_s \cdot |\cos(\theta_s)|}, \text{ ср}^{-1}, \quad (2)$$

где  $\Phi_{e,s}$  и  $\Phi_{e,i}$  — падающий и отражённый световые потоки соответственно,  $\Omega_s$  — телесный угол, стягиваемый при-

ёмником,  $\theta_s$  — угол между нормалью к поверхности и направлением отражения излучения [9].

Спектральные измерения  $BRDF$  были проведены с использованием разработанного и изготовленного нами гониофотометра [10]. На рис. 1 для разных углов падения приведены зависимости  $BRDF$  материала отражателя от угла отражения. Данные приведены для длины волны  $555$  нм. Зависимость  $BRDF$  от длины волны для угла падения  $53^\circ$  и угла отражения  $75^\circ$  относительно нормали к поверхности приведена на рис. 2. При всех углах падения и отражения наблюдаются небольшие колебания амплитуды  $BRDF$ .

Использовавшийся в светильнике интерференционный светофильтр состоит из нескольких тонких прозрачных слоёв с разными показателями преломления. В этой многослойной конструкции усиливающая и ослабляющая интерференция применяется для пропускания падающего под определёнными углами излучения с определёнными длинами волн и для отражения падающего под другими углами излучения с теми же длинами волн. В качестве подложки в этом интерференционном светофильтре используется прозрачная стеклянная пластина с пренебрежимо малыми поглощением и отражением. В многослойной конструкции поглощается порядка  $3\%$  излучения, а диффузным отражением излучения можно пренебречь [10]. Этот светофильтр характеризуется направленным пропусканием и зеркальным отражением излучения, которые описываются коэффициентами пропускания и отражения (уравнения (3) и (4)). Значения коэффициентов пропускания и отражения определялись экспериментально в установке для измерения  $BRDF$ .

$$T(\lambda, \theta) = \frac{\Phi_{e,t}}{\Phi_{e,i}}, \quad (3)$$

$$R(\lambda, \theta) = \frac{\Phi_{e,r}}{\Phi_{e,i}}, \quad (4)$$

где индексы  $i$ ,  $t$  и  $r$  обозначают, соответственно, падающий, прошедший и отражённый потоки излучения, а индекс  $e$  означает, что это поток излучения, а не световой поток. Коэффициенты пропускания и отражения были измерены в функции

Рис. 4.  
Нормализованный  
измеренный спектр  
лампы *SDW-T*

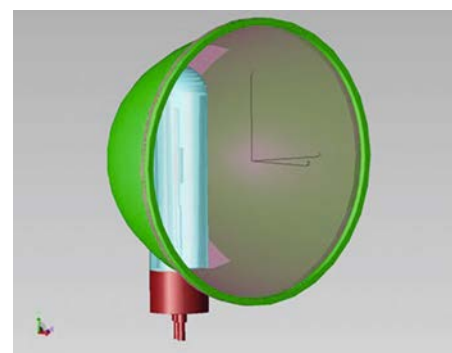
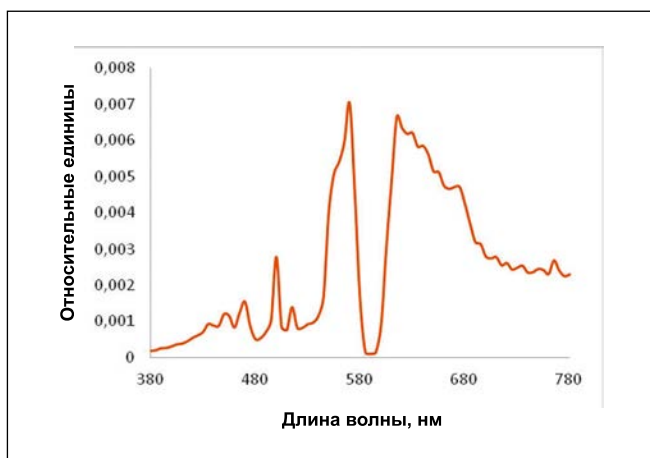


Рис. 5. Модель светильника, использованная при моделировании методом трассировки лучей

длины волны для нескольких углов падения. На рис. 3 приведены измеренные для трёх углов падения значения коэффициента направленного пропускания. Обратите внимание на то, что на зависимость коэффициента пропускания от длины волны сильно влияет угол падения.

Для измерения зависимости спектра излучения светильника от угла падения светильник был помещён в гониофотометр типа 1 МКО [11], который может поворачивать осветительный прибор вокруг горизонтальной и вертикальной осей. Свет захватывается камерой *Topcom 100*, расположенной в дальнем поле на расстоянии 8,72 м от светильника. Захваченный свет по оптическому волокну передаётся на спектрограф *Oriel Multispec*. Так как приёмник расположен в дальнем поле, а весь осветительный прибор находится в пределах его поля зрения, то регистрируемый спектр можно считать спектральным распределением силы излучения светильника. Спектр излучения

голой лампы *SDW-T* измерялся аналогичным образом. Спектр лампы в относительных единицах приведён на рис. 4.

### 3. Спектральная трассировка лучей методом Монте-Карло

Для спектральной трассировки лучей методом Монте-Карло использовался коммерческий пакет программ *TracePro®* компании *Lambda Research Corporation*. Геометрию светильника смоделировали в этом пакете программ с использованием файлов с характеристиками отражателя, предоставленных изготовителем светильника, и типовой модели лампы *SDW-T*, содержащейся в библиотеке пакета программ. Геометрическая модель светильника приведена на рис. 5. Поверхность цилиндрической разрядной трубки лампы рассматривалась в качестве источника света и была смоделирована как равномерно излучающая свет поверхность. Эта относительно простая модель источ-

ника света вполне приемлема, так как источник имеет малые размеры и расположен на относительно большом расстоянии от отражателя. Кроме того, спектр излучения лампы не сильно зависит от угла излучения. В ином случае потребовалась бы гораздо более сложная спектральная модель источника света, основанная на файлах спектральных лучей [12, 13]. Отражательные характеристики материала отражателя и коэффициенты пропускания и отражения интерференционного светофильтра были преобразованы в подходящий формат и загружены в программу трассировки лучей. Отражательные характеристики были несколько упрощены, так как не имело смысла включать небольшие колебания, немного разные для разных углов падения. Поэтому *BRDF* считалась постоянной в интервале 380–570 нм и линейно уменьшающейся в интервале 570–780 нм, так чтобы полный интегральный коэффициент отражения совпадал с результатами измерений. Для моделирования

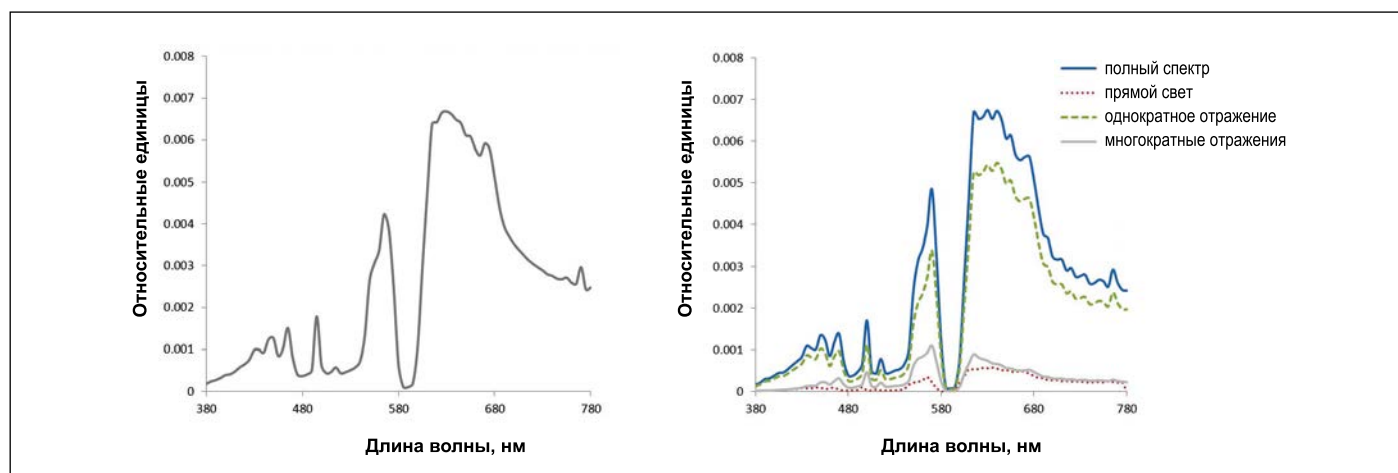


Рис. 6. Измеренный (слева) и смоделированный (справа) спектры для угла излучения  $0^\circ$  и расстояния 8,72 м от светильника. В спектре преобладает вклад однократно отражённого света, а многократные отражения вносят больший вклад, чем прямой свет

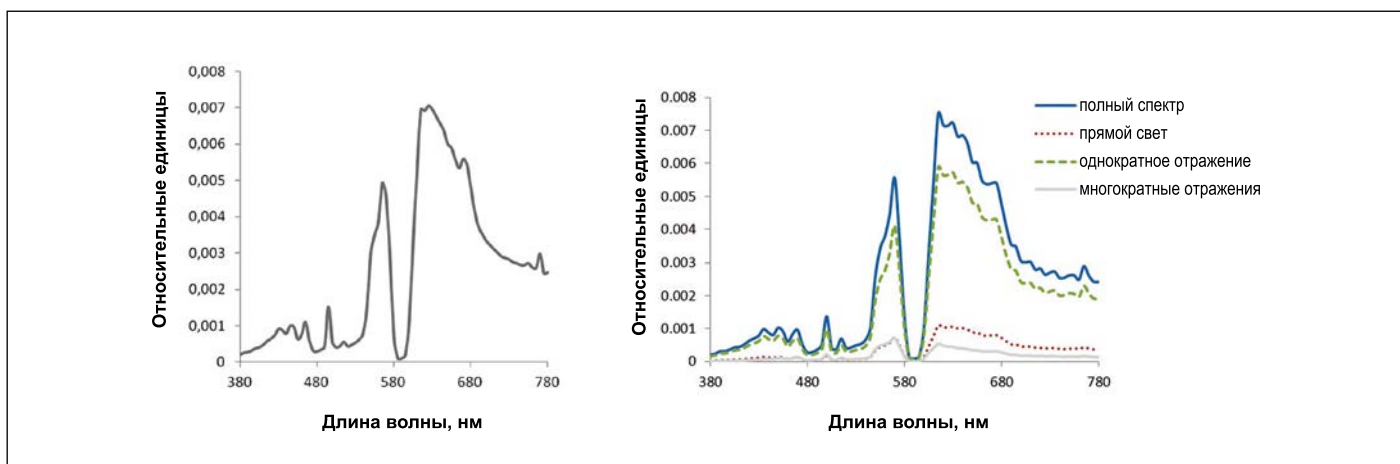


Рис. 7. Измеренный (слева) и полученный методом трассировки лучей (справа) спектры для угла излучения  $30^\circ$  и расстояния 8,72 м от светильника. В спектре преобладает вклад однократно отражённого света, а прямой свет вносит больший вклад, чем многократные отражения

приёмника была сформирована имеющая форму диска цель диаметром 3 мм (то есть размеры цели совпадали с размерами входного отверстия камеры *Torcom 100*), расположенная на расстоянии 8,72 м от светильника. Из-за малых размеров использовавшейся при трассировке лучей цели и большого расстояния от источника света, вероятность попадания на цель случайного луча была чрезвычайно мала, что делало нецелесообразной классическую трассировку лучей между источником и целью. Поэтому был реализован метод обратной трассировки лучей, который часто используется в компьютерной графике [14]. При обратной трассировке прослеживается прохождение лучей через оптическую систему в обратном направлении, то есть от цели к источнику, и учитываются сопровождающие это прохождение процессы (например, френелевское отражение, отражение от поверхности и т.д.). Если

и когда луч падает на источник, ему ставится в соответствие поток, соответствующий излучательной способности источника. На основе этого исходящего потока и истории прохождения луча рассчитывается попавший на цель поток. Для моделирования спектра излучения лампы *SDW-T* в интервале 380–780 нм была проведена трассировка 1 млн лучей для каждой из 81 длин волн, расположенных в интервале 380–780 нм с шагом 5 нм. Для каждой из этих длин волн относительный поток излучения был взвешен в соответствии со спектром излучения разрядной лампы.

#### 4. Результаты и обсуждение

Измеренный и смоделированный спектры были нормализованы таким образом, чтобы результат интегрирования соответствующего спектра был равен 1. Спектры, полученные посредством обратной трассировки лу-

чей, можно разложить на составляющие, соответствующие свету, который прошёл через оптику по разным путям [15]. Были рассмотрены три составляющие: прямой свет (то есть свет, прошедший от источника к цели напрямую через светофильтр), свет, который был один раз отражён отражателем, а затем через светофильтр попал на цель, и свет, который до попадания через светофильтр на цель был несколько раз отражён отражателем. На рис. 6–8 проведено сравнение измеренных и рассчитанных спектров для углов излучения  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  и  $60^\circ$ . Во всех трёх случаях наблюдается хорошее соответствие между измеренными и рассчитанными спектрами. Моделирование показало, что относительный вклад трёх составляющих в результирующий спектр зависит от угла излучения. В спектре излучения, соответствующем  $0^\circ$ , преобладает свет, который был один раз отражён отражателем. Составляющая,

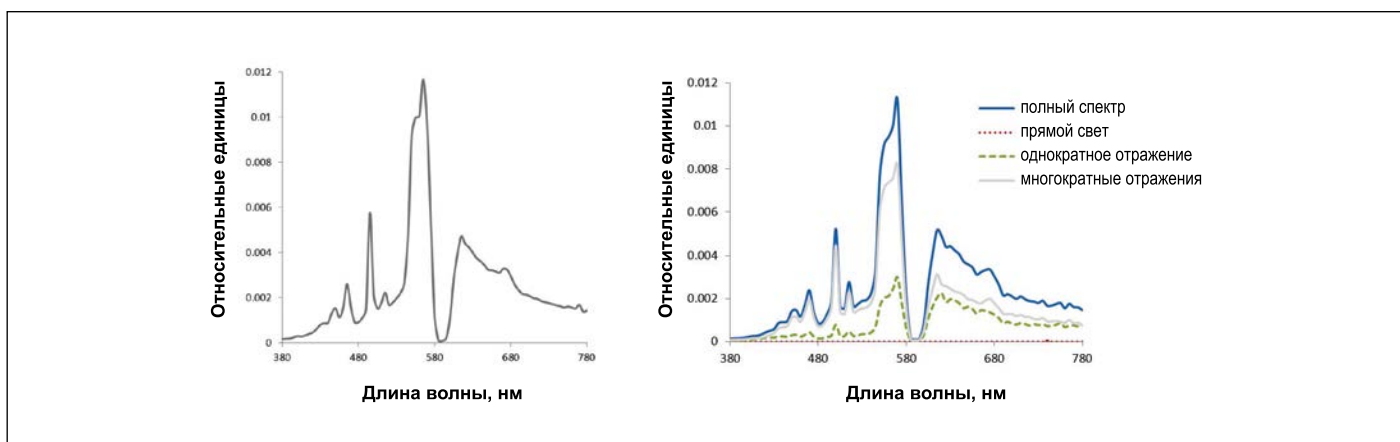


Рис. 8. Измеренный (слева) и смоделированный (справа) спектры для угла излучения  $60^\circ$  и расстояния 8,72 м от светильника. В спектре преобладает вклад света, попадающего на приёмник после многократного отражения. Прямой свет не вносит в спектр никакого вклада

**Координаты цветности МКО ( $u'$ ,  $v'$ ), рассчитанные на основе измеренного и смоделированного спектров. Разности цветностей, полученных на основе результатов измерений и моделирования, возрастают по мере увеличения угла излучения**

Угол излучения, град.	Эксперимент	Моделирование	$\Delta(u', v')$
0	$u' = 0,3125$ $v' = 0,5088$	$u' = 0,3119$ $v' = 0,5086$	0,0006
30	$u' = 0,3097$ $v' = 0,5196$	$u' = 0,3163$ $v' = 0,5191$	0,0066
60	$u' = 0,1982$ $v' = 0,5360$	$u' = 0,2087$ $v' = 0,5365$	0,0105

соответствующая свету, несколько раз отражённому отражателем, превышает вклад прямого света. При угле излучения  $30^\circ$  вклад прямого света становится больше вклада многократно отражённому свету, но доминирующим всё ещё остаётся свет, отражённый отражателем один раз. При угле излучения  $60^\circ$  линия зрения между приёмником и разрядной трубкой заслонена отражателем, и вклад прямого света равен нулю. Однако при этом часть внутренней поверхности отражателя всё ещё видна из точки расположения приёмника, и на приёмник попадает свет, хотя бы один раз отражённый отражателем. Моделирование при помощи трассировки лучей показало, что в спектре преобладает свет, несколько раз отражённый от поверхности отражателя.

В соответствии с рекомендациями МКО, цветности световых стимулов и разности цветностей источников света лучше всего изображать на графике цветности ( $u'$ ,  $v'$ ) МКО [16]. Разность цветностей  $\Delta(u', v')$  двух источников света  $A$  и  $B$  описывается выражением:

$$\Delta(u', v') = \sqrt{(u'_A - u'_B)^2 + (v'_A - v'_B)^2}. \quad (5)$$

Минимальная различаемая (с вероятностью 50 %) разность цветностей соответствует равной 0,0013 разности координат цветности. В табл. 1 приведены координаты цветности ( $u'$ ,  $v'$ ), рассчитанные на основе измеренного и смоделированного спектров, а также разности соответствующих цвет-

ностей. Обратите внимание на то, что разность цветностей увеличивается по мере увеличения угла излучения. При каждой обратной трассировке лучей «запускался» 1 млн лучей, однако из-за различий в геометрии количество лучей, реально достигших источника света, было разным. При равном  $0^\circ$  угле излучения на источник света обычно попадало 29 % лучей, тогда как при угле излучения  $30^\circ$  их число уменьшалось до 19 %, а при  $60^\circ$  в формировании смоделированного спектра участвовало менее чем 1 % лучей. Так как по мере увеличения угла излучения количество лучей, вносящих вклад в смоделированный спектр, уменьшается, то при увеличении угла излучения увеличивается и содержание шумов в смоделированном спектре.

Интересно посмотреть на то, какое влияние на спектр оказывает переотражение света. Излучение источника света отражается интерферен-

ционным светофильтром обратно на отражатель. На поверхности отражателя оно отражается по меньшей мере один раз, после чего опять попадает на светофильтр, пропускается им и вносит вклад в спектральное распределение силы излучения светильника. Для ответа на вопрос, влияет ли это переотражение света на спектр излучения светильника, было проведено соответствующее изменение модели трассировки лучей. В новой модели интерференционный светофильтр был извлечён из светильника и помещён на большом (8 м) расстоянии от светильника параллельно своему первоначальному расположению. При этой конфигурации линия зрения приёмника, проходящая через интерференционный светофильтр к отражателю, а затем к лампе, не изменилась, тогда как отражённый светофильтром свет уже не попадал на отражатель и не участвовал в моделировании, тем самым исключая пе-

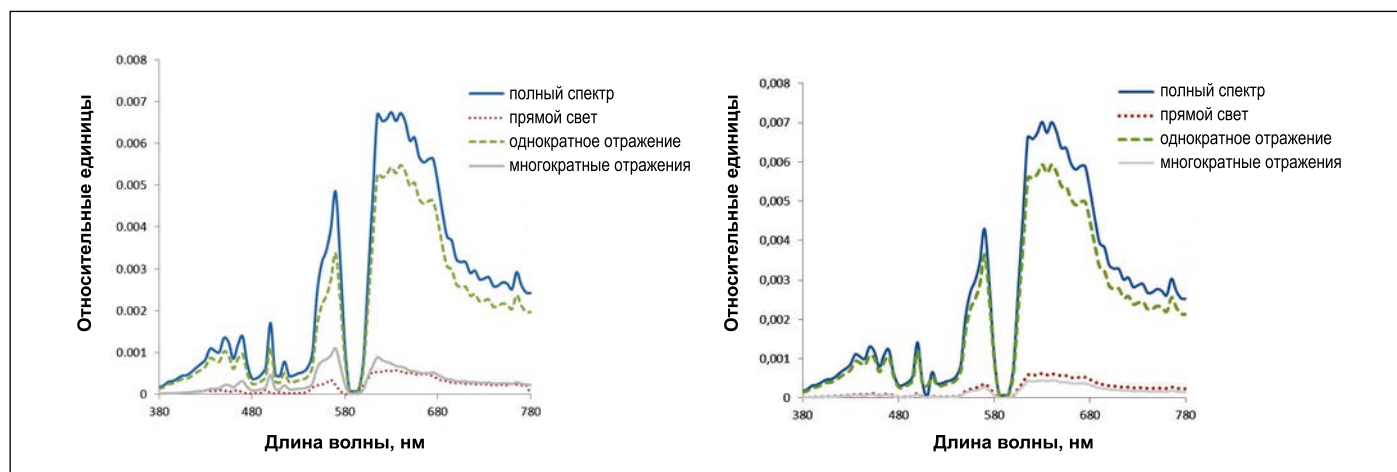


Рис. 9. Соответствующие углу излучения  $0^\circ$  спектры, полученные методом трассировки лучей применительно к светильнику (слева) и применительно к модифицированному варианту, исключающему переотражение света (справа). Обратите внимание на то, что при отсутствии переотражения вклад многократно отражённого света существенно уменьшается

Координаты цветности МКО ( $u'$ ,  $v'$ ), соответствующие измеренному спектру излучения светильника, смоделированному спектру излучения светильника, спектру, смоделированному без учёта переотражения света, и спектру, полученному умножением спектра излучения лампы на соответствующий  $0^\circ$  коэффициент пропускания интерференционного светофильтра. Приведены также разности цветностей, полученных применительно к измеренному и смоделированным спектрам

	Измеренный спектр	Смоделированный спектр	Смоделированный спектр без учёта переотражения	(Спектр лампы) x (коэффициент пропускания)
Координаты цветности	$u' = 0,3125$ $v' = 0,5088$	$u' = 0,3119$ $v' = 0,5086$	$u' = 0,3271$ $v' = 0,5056$	$u' = 0,3289$ $v' = 0,5058$
Разность цветностей, соответствующих смоделированному и измеренному спектрам, $\Delta(u', v')$		0,0006	0,0150	0,0166

реотражение света. На рис. 9 проведено сравнение спектров излучения для угла излучения  $0^\circ$ . В случае изменённой геометрии, вклад, вносимый в спектр многократно отражённым светом, по порядку величины совпадает с вкладом прямого света, тогда как при обычной геометрии светильника при длинах волн 540–650 нм вклад многократно отражённого света превосходит вклад прямого света. Это подразумевает различие цветностей света в этих двух случаях. Следует отметить, что так как характеристики материала отражателя практически не зависят от длины волны, то при отсутствии переотражения спектр излучения светильника совпадает со спектром, наблюдаемым при рассмотрении источника света через интерференционный светофильтр при отсутствии каких бы то ни было других оптических элементов. В табл. 2 приведены координаты цветности МКО ( $u'$ ,  $v'$ ), соответствующие измеренно-

му спектру, смоделированному спектру, спектру, смоделированному без учёта переотражения света, и спектру, полученному умножением спектра излучения лампы на коэффициент пропускания интерференционного светофильтра. Там же приведены разности цветностей, полученных применительно к смоделированным и измеренному спектрам. Из таблицы следует, что так как отражательные свойства отражателя практически не зависят от длины волны, то цветность света, излучаемого светильником, можно определить посредством простого умножения спектра излучения лампы на коэффициент пропускания интерференционного светофильтра. Результаты моделирования говорят о том, что переизлучение света оптически элементами светильника оказывает существенное влияние на спектр и цветность света. В спектрах, смоделированных применительно к углам излучения  $30^\circ$  и  $60^\circ$  (рис. 10, 11), при-

сутствует больше флуктуационных шумов, вследствие чего соответствующие этим спектрам цветности хуже согласуются с экспериментальными данными (табл. 1). При угле излучения  $30^\circ$  спектр без переизлучения света демонстрирует уменьшение вклада света, несколько раз отражённого поверхностью отражателя. Однако форма спектра в целом и относительный вклад каждой из составляющих не сильно изменились по сравнению со спектром, приведённым на рис. 7. В этом конкретном случае переизлучение света оказывает относительно малое влияние. При угле излучения  $60^\circ$  ситуация совершенно другая (рис. 11), так как в этом случае исключение переотражения света приводит к очень сильному изменению спектра. При этом угле линия зрения от приёмника до разрядной трубки, являющейся реальным источником света, блокируется отражателем, и в спектре, полученном с учётом переотраже-

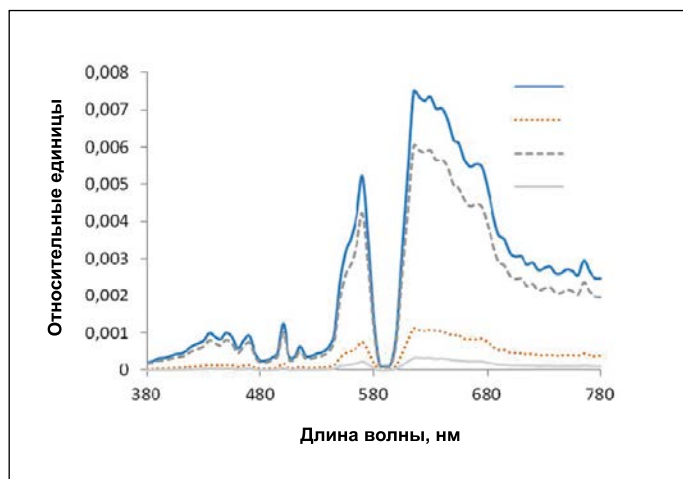


Рис. 10. Смоделированный спектр для равного  $30^\circ$  угла излучения и отсутствия переотражения света

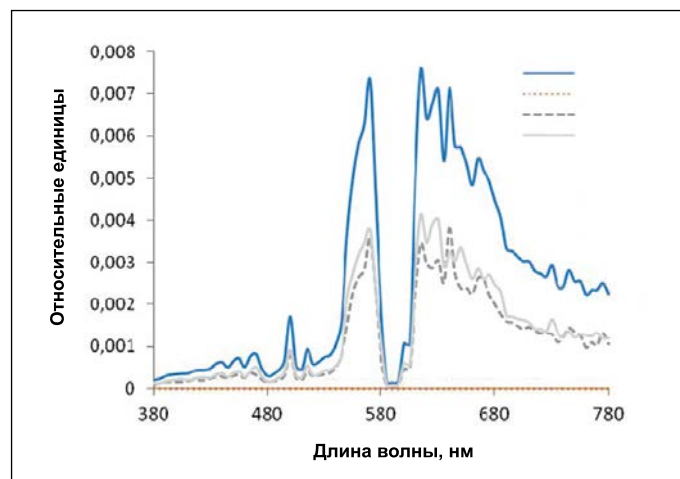


Рис. 11. Смоделированный спектр для равного  $60^\circ$  угла излучения и отсутствия переотражения света

ния света, преобладает свет, который был отражён несколько раз. Исключение переотражения света приводит к равенству вкладов однократного и многократных отражений, и получаемый в этом случае спектр становится совершенно другим.

## 5. Выводы

Спектральная трассировка лучей методом Монте-Карло может использоваться для точного моделирования зависящих от угла излучения спектров излучения светильников, содержащих ненейтральные оптические элементы, например, интерференционные светофильтры. Полученные при помощи компьютерного моделирования спектры очень хорошо согласуются с результатами измерений и предоставляют интересную дополнительную информацию о том, какой вклад в спектр вносит свет, распространяющийся в светильнике по разным траекториям, и как этот вклад зависит от угла излучения. При помощи компьютерного моделирования светильника с несколько изменённой геометрией, в которой было исключено переотражение света, было рассмотрено влияние преотражения на спектр излучения светильника. Было установлено, что переотражение света имеет важное значение для объяснения характера спектрального распределения силы излучения и цветности излучаемого светильником света. Подобное моделирование не только способствует лучшему пониманию нежелательных сдвигов спектров излучения светильников, но и может оказаться полезным инструментом проектирования осветительных установок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee, X.H., Moreno, I., Sun, C.C. High-performance LED street lighting using microlens arrays// Optics Express. — 2013. — Vol. 21, No. 9. — P. 10612–10621.  
 2. Wang, K., Chen, F., Liu, Z., Luo, X., Liu S. Design of compact freeform lens for application specific light-emitting diode packaging// Optics Express. — 2010 — Vol. 18, No. 2. — P. 414–425.  
 3. Vandeghinste, F., Durinck, G., Forment S., Deconinck G., Hanselaer, P. A narrow beam reflector for a two-dimensional array of power light emitting diodes// Leukos. — 2008. — Vol. 4, No. 4. — P. 243–254.

4. Imram, N. The role of visual cues in consumer perception and acceptance of a food product// Nutrition & Food Science. — 1999. — No. 5. — P. 224–228.

5. Barbut, S. Effect of illumination source on the appearance of fresh meat cuts// Meat Science. — 2001. — No. 59. — P. 187–191.

6. Barbut, S. Effect of three commercial light sources on acceptability of Salmon, Snapper and Sea Bass fillets// Aquaculture. — 2004. — No. 236. — P. 321–329.

7. Audenaert, J., Leloup, F.B., Durinck, G., Deconinck, G., Hanselaer, P. Bayesian deconvolution method applied to experimental bidirectional transmittance distribution functions// Meas. Sci. Technol. — 2013. — Vol. 24. — Publ. 035202 (9pp).

8. Audenaert, J., Leloup, F.B., Van Giel, B., Durinck, G., Deconinck, G., Hanselaer, P. Impact of the accurateness of bidirectional reflectance distribution function data on the intensity and luminance distributions of a light-emitting diode mixing chamber as obtained by simulations// Optical Engineering. — 2013. — Vol. 52, No. 9. — P. 095101–1 – 095101–7.

9. Standard practice for angle resolved optical scatter measurements on specular or diffuse surfaces// ASTM E1392–96 (2002). 12p

10. Leloup, F.B., Forment, S., Dutré, P., Pointer, M., Hanselaer, P. Design of an instrument for measuring the spectral bidirectional scatter distribution function// Applied Optics. — 2008. — Vol. 47, No. 29. — P. 5454–5467.

11. CIE121–1996: The photometry and goniophotometry of luminaires.

12. Rykowski, R.F. Spectral ray tracing from near field goniophotometer measurements// Light & Engineering. — 2011. — Vol. 19, No. 1. — P. 23–29.

12 а. Рыковский, Р. Спектральная трассировка лучей на основе результатов гониофотометрии ближнего поля//Светотехника. — 2010. — № 6. — С. 29–35.

13. Jacobs, V.A., Audenaert, J., Bleumers, J., Durinck, G., Rombouts, P., Hanselaer, P. Rayfiles including spectral and colorimetric information// Optics Express. — 2015. — Vol. 23, No. 7. — P. A361–A370.

14. Dutré, P., Bekaert, P., Bala, K. Advanced Global Illumination. A K Peters Ltd., 2006.

15. Durinck, G., Leloup, F.B., Audenaert, J., Hanselaer, P. Spectral ray tracing to model the spectrum of a luminaire equipped with an interference filter// Proc. of the 6<sup>th</sup> Int. Conf. on Optical Measurement Techniques for Structures & Systems OPTIMESS2015, Antwerp, 8–9 April 2015, pp. 85–93

16. CIE TN001:2014. Chromaticity Difference Specification for Light Sources.



**Гай Дюринк (Guy Durinck), Ph.D.** (1999 г.). Научный сотрудник светотехнической лаборатории Католического университета Лёвена. Читает лекции по математике, общей физике

и физической оптике в Католическом университете Лёвена и университетском колледже Odisee. Область научных интересов: проектирование оптики осветительных приборов, оптическое моделирование при помощи трассировки лучей



**Фредерик Б. Лелуп (Frédéric B. Leloup), Ph.D.** (2012 г.). Координатор по обеспечению научных исследований светотехнической лаборатории Католического университета Лёвена. Об-

ласть научных интересов: корреляции между оптическими параметрами, влияющими на зрительный облик (цвет, глянец, текстура и т.д.), вопросы качества применительно к испытательным и поверочным лабораториям



**Ян Оденаерт (Jan Audenaert), Ph.D.** (2014 г.). Научный консультант светотехнической лаборатории Католического университета Лёвена. Область научных

интересов: трассировка лучей, гониофотометрия ближнего поля



**Петер Ханселаер (Peter Hanselaer), Ph.D.** (1986 г.). Профессор Католического университета Лёвена, основатель светотехнической лаборатории этого университета.

Ведёт курсы фотоники, оптоволоконной связи и освещения. Область научных интересов: освещение, восприятие и облик, проектирование оптических систем, источники света и оптические измерения

# Исследование и разработка моделей светящихся тел светодиодов серии «КИПД140А»

В.А. ГАВРИЛЕНКОВ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
E-mail: gva1096@yandex.ru

## Аннотация

Приведены результаты измерений геометрических и светотехнических характеристик двух типов светодиодов серии «КИПД140А». Предложено аналитическое описание моделей светящихся тел светодиодов, устанавливающее взаимосвязь геометрических и светотехнических характеристик светящихся тел светодиодов и позволяющее по известному световому потоку светодиода находить его осевую силу света и распределение яркости по поверхности светящегося тела. Статья посвящается памяти проф. В.В. Трёмбача.

**Ключевые слова:** светодиод, светящее тело, модель, геометрические параметры, яркость, сила света, световой поток, измерение, аналитическое описание.

Применение компьютерных методов решения задач синтеза, анализа и оптимизации световой части световых приборов (СП) требует разработки математических моделей светящихся тел (СТ) источников излучения.

Под светящим телом источника излучения понимают ту его часть, в которой осуществляется преобразование подводимой электрической энергии в световой поток [1]. Характеризуется СТ геометрическими и светотехническими характеристиками. К геометрическим характеристикам относятся

форма и размеры СТ, к светотехническим – световой поток, сила света и яркость. Разработка моделей СТ источников излучения, включая светодиоды (СД), основывается на анализе результатов измерений их параметров и характеристик.

Объекты исследований в настоящей работе – СД серии «КИПД140А»: типов КИПД140А-120-1Б-1,2 и КИПД140А-120-1Л-1,2 [2], общий вид которых и некоторые каталожные характеристики приведены в табл. 1.

Кривые силы света (КСС) СД измерялись на гониометре [3]. Анализ результатов этих измерений для СД типа КИПД140А-120-1Б-1,2 – белого свечения с рассеивающей первичной оптикой – и типа КИПД140А-120-1Л-1,2 – зелёного свечения с прозрачной первичной оптикой – позволяет отметить следующее:

1. КСС СД в разных меридиональных плоскостях различаются незначительно, что позволяет описывать пространственное распределение потока излучения в световом пучке этих СД усреднёнными кривыми (рис. 1).

2. КСС СД типа КИПД140А-120-1Б-1,2, с рассеивающей первичной оптикой, (рис. 1, а) можно аппроксимировать как

$$I_{\varphi} = I_0 \cdot \cos^m \varphi, \quad (1)$$

где  $I_0$  – осевая сила света СД;  $\varphi$  – угловая координата исследуемого на-

правления;  $m$  – коэффициент аппроксимации, определяющий степень отличия аппроксимирующей кривой от косинусной функции.

Коэффициент  $m$  рассчитывается по формуле

$$m = \lg 0,5 / \lg(\cos \varphi_{0,5}), \quad (2)$$

где  $\varphi_{0,5}$  – угловая координата направления, соответствующая равенству  $I_{\varphi} = 0,5 \cdot I_0$ .

3. При аппроксимации КСС СД типа КИПД140А-120-1Л-1,2, с прозрачной первичной оптикой, (рис. 1, б) можно выделить два диапазона: а)  $0^{\circ} \leq \varphi < 60^{\circ}$ , в котором КСС может аппроксимироваться функцией вида (1) с коэффициентом аппроксимации  $m_1 = 0,24-0,27$  и осевой силой света  $(I_0)_2 = I_0$  (кривая 2); б)  $60^{\circ} \leq \varphi \leq 90^{\circ}$  КСС также аппроксимируется функцией вида (1), но с коэффициентом аппроксимации  $m_2 = 0,6-0,8$  и осевой силой света  $(I_0)_3 = (0,3-0,4) \cdot I_0$  (кривая 3).

4. Предложенная аппроксимация КСС позволяет получить выражения взаимосвязи светового потока  $\Phi_v$  с  $I_0$  СД обоих рассматриваемых типов.

Например:

• для СД типа КИПД140А-120-1Б-1,2

$$\Phi_v = 2\pi \cdot I_0 \int_0^{90^{\circ}} \cos^m \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi$$

откуда

$$\Phi_v = 2\pi \cdot I_0 / (m+1); \quad (3)$$

• для СД типа КИПД140А-120-1Л-1,2, с учётом двудиапазонной аппроксимации КСС,

$$\Phi_v = 2\pi \cdot I_0 \cdot \left[ \int_0^{60^{\circ}} \cos^{m_1} \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi + 0,3 \cdot \int_0^{90^{\circ}} \cos^{m_2} \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \right],$$

откуда

$$\Phi_v = 2\pi \cdot I_0 \cdot \left[ (1 - \cos^{m_1+1} 60^{\circ}) / (m_1 + 1) + (0,3 \cdot \cos^{m_2+1} 60^{\circ}) / (m_2 + 1) \right]. \quad (4)$$

Геометрические параметры и яркость СТ СД измерялись с помощью микроскопа-яркомера [4].

Вид СТ СД под микроскопом приведён на рис. 2, а анализ результатов измерений яркостных характеристик этих СТ (рис. 3, а и 4) позволяет отметить, что:

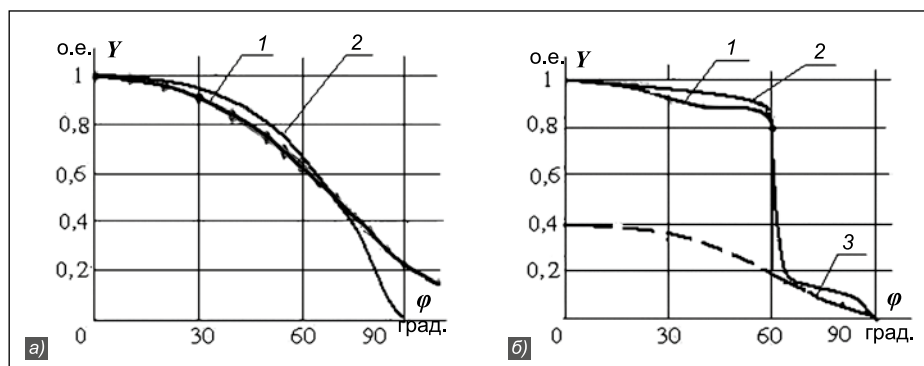


Рис. 1. Экспериментальные КСС 1 и аппроксимирующие зависимости 2 и 3 для светодиодов КИПД140А-120-1Б-1,2 (а) и КИПД140А-120-1Л-1,2 (б)



- СТ СД типа КИПД140А-120-1Б-1,2 («белый» с рассеивающей первичной оптикой) симметрично и имеет близкую к полусферической форму, что позволяет принять в качестве модели СТ СД этого типа полушар (рис. 3, б) диаметром 4 мм.

- Распределение яркости  $L$  в меридиональном сечении изображения СТ неравномерно (кривая 1 на рис. 3, а) и может быть аппроксимировано экспоненциально:

$$L(y) = L_0 \cdot \exp[-2(y / y_{0,1})^2], \quad (5)$$

где  $L_0$  – осевая яркость,  $y_{0,1}$  – координата точки по оси  $Y$ , соответствующей равенству  $L = 0,1 \cdot L_0$ .

- При оценке  $I_0$  распределение яркости по СТ можно аппроксимировать ломаной линией (кривая 2 на рис. 3, а). Такая аппроксимация позволяет заменить фактически неравнояркое СТ условными (например, 3 равнояркими) СТ, размеры и яркость которых находятся из условия равенства фактической  $I_0$  сумме сил света, формируемых условными СТ:

$$I_0 = \sum (L_k \cdot A_{ст,k}), \quad (6)$$

где  $L_k$  – яркость  $k$ -го условного СТ;  $A_{ст,k}$  – площадь проекции этого СТ на плоскость, перпендикулярную направлению  $\varphi = 0$ .

- Анализируя структуру пучков физических лучей, опирающихся на бесконечно малые элементы светящей поверхности, например, по направлению  $\varphi = 0$  (рис. 3, б), можно найти функцию, описывающую распределение яркости в этих элементарных пучках.

Действительно, варьируя координату  $y_k$ , можно по формуле (5) вычислить яркость выходящего из т.  $M_k$  луча  $L_k(y)$ , и его угловую координату (относительно нормали к поверхности)  $\varepsilon_k$  по формуле

$$\varepsilon_k = \arcsin(y_k / r_c), \quad (7)$$

где  $r_c$  – радиус (полурадиус) модели СТ СД.

Получаемую таким образом зависимость можно аппроксимировать экспоненциально:

$$L(\varepsilon) = L_{0,\varphi} \cdot \exp[-2(\varepsilon / \varepsilon_{0,1})^2], \quad (8)$$

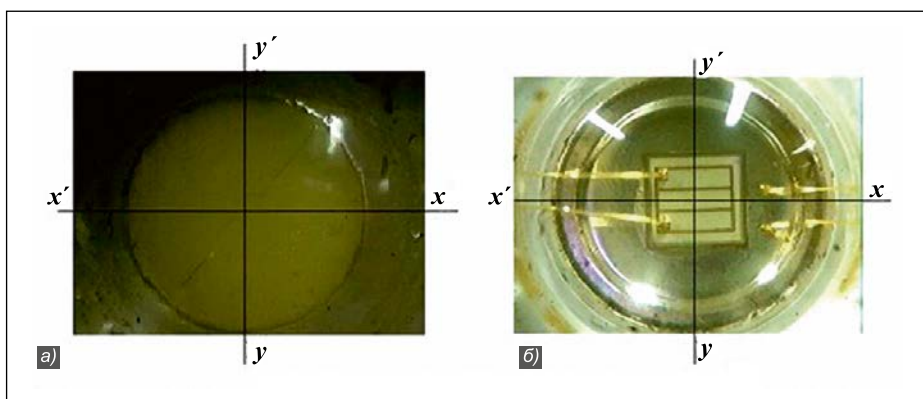


Рис. 2. Вид под микроскопом светящего тела светодиодов КИПД140А-120-1Б-1,2 (а) и КИПД140А-120-1Л-1,2 (б)

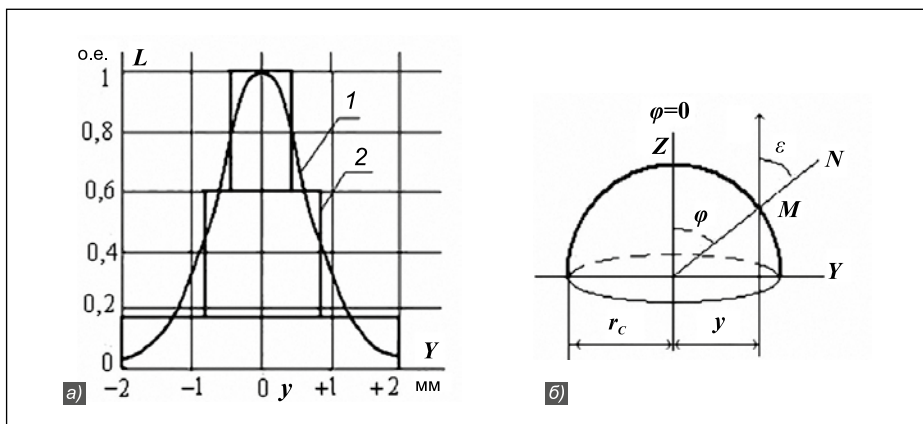


Рис. 3. Распределение яркости в изображении (а) и сечение модели (б) светящего тела светодиода КИПД140А-120-1Б-1,2

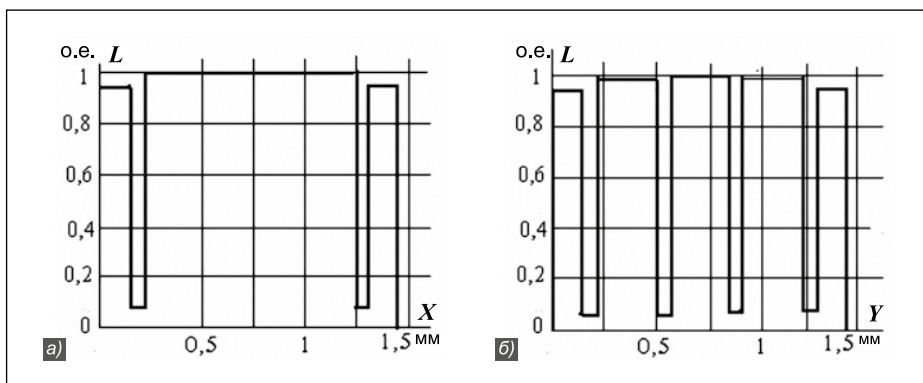


Рис. 4. Распределение яркости в изображении светящего тела светодиода КИПД140А-120-1Л-1,2 в сечениях  $x-x'$  (а) и  $y-y'$  (б)

где  $\varepsilon_{0,1}$  – координата луча, соответствующая равенству  $L(\varepsilon) = L_{0,\varphi}$ .

Из рис. 3 согласно сформулированному условию следует, что  $\varepsilon_{0,1} \approx 49^\circ$ .

- Вид СТ СД типа КИПД140А-120-1Л-1,2 под микроскопом имеет сложную структуру (рис. 2, б) с первичным СТ, вписывающимся в прямоугольник (квадрат) со сторонами  $2h_c = 2l_c = 1,4$  мм, и систему вторичных СТ, образование которых объяснимо оптическим дейст-

вием сферической линзы – элемента конструкции СД.

Аналитическое описание вторичных СТ, форма и размеры которых меняются при изменении направления наблюдения  $\varphi$ , – задача сложная, и потому, учитывая их намного меньшие размеры и яркость, чем у первичного СТ, представляется целесообразным заменить всю систему реальных СТ моделью – прямоугольным СТ, равным по площади первичному СТ. Сила света модели берётся той же,

Общий вид и характеристики светодиодов КИПД140А-120–1Б-1,2

Тип	Цвет излучения (рабочий диапазон длин волн)	Рабочий ток, мА	Мощность, Вт	Световой поток $\Phi_v$ , лм	Общий вид светодиода
КИПД140А-120–1Б-1,2	Белый	350	1	80	
КИПД140А-120–1С-1,2	Синий (460–480 нм)			15	
КИПД140А-120–1К-1,2	Красный (615–635 нм)			35	
КИПД140А-120–1Ж-1,2	Жёлтый (585–595 нм)				
КИПД140А-120–1Л-1,2	Зелёный (515–535 нм)			60	

Таблица 2

Параметры и характеристики моделей светящихся тел светодиодов

Тип светодиода	$\Phi_v$ , лм	$I_0$ , кд	$L_{ср}$ , кд/м <sup>2</sup>	$L_{макс}$ , кд/м <sup>2</sup>	Форма и уравнение поверхности расчётного светящего тела
КИПД140А-120–1Б-1,2	80	21	$1,67 \cdot 10^6$	$5,97 \cdot 10^6$	полушар: $x_c^2 + y_c^2 + z_c^2 = (r_c)^2; z_c < r_c$
КИПД140А-120–1Л-1,2	60	12	$6,1 \cdot 10^6$	$7,65 \cdot 10^6$	прямоугольник: $-a_c/2 \leq y_c \leq a_c/2; -b_c/2 \leq x_c \leq b_c/2; z_c = 0$
КИПД140А-120–1С-1,2	15	3	$1,52 \cdot 10^6$	$1,91 \cdot 10^6$	То же
КИПД140А-120–1К-1,2	35	6,96	$3,54 \cdot 10^6$	$7,65 \cdot 10^6$	" – "

Примечание:  $r_c, a_c, b_c$  – геометрические параметры светящихся тел

что у реального СТ СД типа КИПД 140А-120–1Л-1,2. Распределение яркости по поверхности модели принимается постоянным, а – в пространстве вычисляется по формуле

$$L(\varphi) = I(\varphi) / A_{сд}(\varphi), \quad (9)$$

где  $I(\varphi)$  – сила света СД в исследуемом направлении  $\varphi$ ,  $A_{сд}(\varphi)$  – площадь проекции СТ  $A_{сд}$  на перпендикулярную направлению  $\varphi$  плоскость.

Формулы (1), (3)–(6) и (9) выражают взаимосвязь светотехнических и геометрических характеристик модели СТ СД и позволяют по известным геометрическим характеристикам и одной из светотехнических характеристик ( $\Phi_v, L_\varphi$  или  $I_0$ ) вычислять две другие из них.

Формулы (1), (7)–(9) позволяют также вычислять яркость лучей в исследуемом направлении.

Параметры и характеристики моделей СТ СД, найденные в результате обработки результатов измерений, приведены в табл. 2.

Предлагаемые модели СТ СД серии «КИПД140А» с рассеивающей и прозрачной первичной оптикой применимы в разработке автоматизированных методов проектирования зеркальных, линзовых и зеркально-линзовых оптических систем СП с такими СД.

Ниже приведены некоторые примеры использования моделей СТ СД в решении практических задач.

• **Примеры вычисления светотехнических характеристик моделей СТ СД**  
– Светодиод типа КИПД140А-120–1Б-1,2

1. Согласно рис. 1,  $a$  принимаем угол  $\varphi_{0,5}$ , равным  $70^\circ$ , и по формуле (2) находим:  $m \approx 0,64$ .

2. Принимаем  $\Phi_v = 80$  лм (табл. 1) и по формуле (3) находим:  $I_0 \approx 21$  кд.

По формуле (5) вычисляем среднюю яркость СТ  $L_{ср}$ :  $L_{ср} = 21 / (12,76 \cdot 10^{-6}) \approx 1,65 \cdot 10^{-6}$  кд/м<sup>2</sup>.

3. Согласно формуле (6)

$$L_{макс} = I_0 / \sum (l_k \cdot A_{ст,k}),$$

где  $l_k$  – относительное значение яркости  $k$ -го элементарного СТ.

Подставляя известные значения  $I_0, l_k$  и  $A_{ст,k}$ , находим:  $L_{макс} = 21/3,44 \approx 6 \cdot 10^{-6}$  кд/м<sup>2</sup>.

– Светодиод типа КИПД140А-120–1Л-1,2

1. Принимаем согласно рис. 1,  $b$ : при  $0 \leq \varphi < 60^\circ m_1 = 0,25$  и  $I_{0,1} = 1$ , а при  $60 \leq \varphi \leq 90^\circ m_2 = 0,65$  и  $I_{0,2} = 0,3$ ;

2. По формуле (4), после преобразований, находим:  $I_0 = \Phi_v / 3,28 = 60/3,28 \approx 18,3$  кд.

• **Пример алгоритма расчёта яркости луча, опирающегося на бесконечно малый элемент поверхности СТ СД**

1. Задаётся во внешней области пространства обратный луч  $a'$  ( $a'_x, a'_y, a'_z$ ), проходящий через бесконечно малый элемент выходного зрачка (светового отверстия) оптической системы СП.

2. Рассчитывается (например, по формулам Федера) ход луча через оптическую систему и находятся координаты ( $a_x, a_y, a_z$ ) сопряжённого с лучом  $a'$  луча  $a$ , лежащего во внутренней области СП (в пространстве источника света).

3. Находятся координаты ( $x_c, y_c, z_c$ ) т.  $M_c$  — точки пересечения луча  $a$  с СТ СД.

4. Находятся координаты ( $x_q, y_q, z_q$ ) вектора нормали  $q$  к поверхности СТ СД в т.  $M_c$  и угловая координата  $\epsilon$  луча  $a$  относительно нормали.

5. По формулам (1), (7)–(9), вычисляется яркость исследуемого луча.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Трембач В.В.* Световые приборы: Учеб. для вузов по спец. «Светотехника и источники света». — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1990. — 463 с.

2. URL: <http://radio-hobby.org/uploads/datasheets/kipd/kipd140.pdf> (дата обращения: 20.08.2016).

3. *Гавриленков В.А.* Измерение кривых силы света светодиодов типа КИПД140А-120-1Б-1,2 / Энергетика, информатика, инновации — 2015. Сборник трудов V международной научно-технической конференции: В 2 томах. — Смоленск: Универсум, 2015. — С. 281–285.

4. *Гавриленков В.А., Петроченков И.А., Логинов О.А.* Оптическая система микроскопа-яркомера / Сборник тезисов докладов на научно-технической конференции «Молодые светотехники России». — М.: Вигма, 2014. — С. 15–17.

Состоявшаяся 10 ноября 2016 года Открытая дискуссия Светотехнической торговой Ассоциации (СТА) «Светотехника: курс на качество» стала одним из наиболее интересных и запомнившихся мероприятий выставки *Interlight Moscow powered by light+building 2016*. В настоящее время российский светотехнический рынок претерпевает изменения, связанные с новым уровнем понимания интересов и потребностей заказчика и, как следствие, новыми задачами, стоящими перед производством и бизнесом.

Модераторами дискуссии выступили первый вице-президент СТА С.В. Койнов и президент «Лайтинг Бизнес Консалтинг» В.Г. Габриелян, построившие мероприятие таким образом, чтобы была возможность услышать мнения и позиции как потребителей и заказчиков светотехнической продукции, так и её производителей, промоутеров и дистрибьюторов. В ходе дискуссии большое значение имела также позиция общественных организаций в области светотехники, в частности, ассоциации «Честная позиция» и СТА.

По итогам заседания и всестороннего анализа докладов и их обсуждения участники дискуссии, среди которых были наиболее заметные игроки светотехнического рынка — компании «БЛ Трейд», «Световые технологии», «ЭТМ», ВНИСИ им. С.И. Вавилова, «Лайтинг Бизнес Консалтинг», а также ассоциации СТА и «Честная позиция», и др. — выступили с совместной резолюцией, в которой большинством голосов признали следующее:

- Проблема качества светотехнических изделий, их технического соответствия заявленным характеристикам и требованиям технических регламентов является существенной для светотехнического рынка РФ.

- Нерешенность данной проблемы на светотехническом рынке РФ создает условия для роста недобросовестных участников рынка, которые вводят в заблуждение конечных потребителей, получая при этом незаконное преимущество, и создает проблемы для добросовестных, продукция которых предлагается по более высоким ценам, соответствующим ее качеству и заявленным техническим данным.

- Проблемы качества и соответствия светотехнических изделий приводят к неэффективному использованию государственных средств, выделяемых на закупку светотехнического оборудования и их прямым потерям.

- Проблемы качества и соответствия светотехнических изделий создают барьер для продвижения инновативных осветительных технологий. Разочарование конечных потребителей в качестве светодиодной продукции как в профессиональном так и в бытовом сегментах приводит к отторжению этих технологий в пользу менее эффективных.

- Существующее законодательное поле не позволяет поставить эффективный барьер недобросовестным участникам рынка и ограничить распространение некачественной продукции.

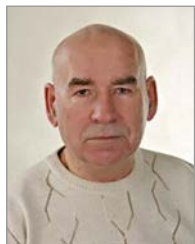
- Для решения данной проблемы необходимо ее понимание всеми участниками рынка — производителями, импортерами, дистрибьюторами, конечными потребителями доведение проблем до всех структур и лиц, ответственных за закупки светотехнического оборудования и объединение усилий добросовестных участников светотехнического рынка в продвижении

- Решению проблем качества и соответствия будет способствовать внедрение добровольной сертификации. Успех внедрения добровольной сертификации зависит от ряда условий: 1) потребитель должен знать о существовании такой сертификации и быть уверен в надёжности знака добровольной сертификации; 2) ФОИВ должны признать знак сертификации как инструмент дифференциации качественной продукции для госзакупок; 3) дистрибьюторы должны отдавать предпочтение продукции, прошедшей добровольную сертификацию. В таких условиях производители будут сами стремиться получить знак добровольной сертификации.

- Российский рынок светотехники в настоящее время перенасыщен светодиодной продукцией, но при этом качество многих светодиодных приборов не отвечает установленным нормами требованиям. Для предотвращения негативных последствий замены традиционного освещения на светодиодное освещение ненадлежащего качества рекомендуется использовать при проектировании осветительной установки только реальные светотехнические характеристики осветительных приборов, а также удостовериться в успешном прохождении их эксплуатационных испытаний.

Подробнее с докладами и стенограммой дискуссии можно ознакомиться на сайте СТА.

[www.lta.ru](http://www.lta.ru)  
13.02.2017



**Гавриленков Владимир Андреевич**, канд. техн. наук, доцент. Окончил в 1968 г. МЭИ по специальности «Светотехника и источники света». Доцент кафедры «Оптико-электронные системы» филиала ФГБОУ ВО «НИУ

«МЭИ» в г. Смоленске

## Научно-технический совет отрасли

По инициативе заведующего кафедрой «Светотехника» ФГБОУ ВО «Национального исследовательского университета «МЭИ» и президента холдинга «БЛ ГРУПП» Г.В. Бооса начата работа по созданию отраслевого научно-технического Совета «Светотехника».

Первым шагом в этом направлении стало Партнёрское соглашение, подписанное руководством Всесоюзного научно-исследовательского светотехнического института (ООО «ВНИСИ»), кафедры «Светотехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «НИУ «МЭИ» (НИУ «МЭИ»), редакцией научно-технического журнала «Светотехника» (ООО «Редакция журнала «Светотехника») и Управляющей компанией «БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП» (ООО «БЛ ГРУПП»). В нём стороны договорились в целях содействия развитию отрасли осуществлять научно-техническое сотрудничество и обмен информацией, а также участвовать в совместных практических проектах. Для реализации поставленных целей Стороны создали научно-технический Совет (НТС).

Статус, структура, состав Совета, его функции и полномочия определяются Положением о Совете, проект которого был обсуждён и одобрен 26 сентября 2016 года собранием участников Партнёрского соглашения о научно-техническом сотрудничестве и подготовлен для принятия на первом заседании НТС. Отмечу ключевое положение о Совете: он должен стать постоянно действующим консультативным и совещательным органом и создаётся в целях выработки научно-технической политики в сфере светотехники, определения приоритетных направлений, организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проведения маркетингового исследования и анализа рынка для выявления интересов потребителей, изучения конкурентной среды, определения возможных источников финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

После большой подготовительной работы 24 ноября 2016 года состоялось первое заседание бюро НТС «Светотехника», состоящего из 19 представителей организаций-участников Партнёрского соглашения.

Первыми вопросами заседания были выборы руководителей. На пост председателя НТС бюро единогласно выбрало Георгия Валентиновича Бооса, а на должность учёного секретаря НТС бюро единогласно выбрало заместителя заведующего кафедрой «Светотехника» НИУ «МЭИ» по учебной работе В.Ю. Снеткова.

Затем Г.В. Боос предложил назначить заместителями председателя НТС: от журнала «Светотехника» – Ю.Б. Айзенберга (шеф редактор); от ООО «ВНИСИ» – А.Г. Шахпаруянц (генеральный директор); от кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ» – А.А. Григорьева (заместитель заведующего кафедрой «Светотехника» НИУ «МЭИ» по организационной работе).

Предложенные кандидатуры были утверждены единогласно.

А.Г. Шахпаруянц предложила назначить Ответственным секретарём НТС Фадееву Ю.С., членами секретариата – Глорию Ю.А., Федорищеву П.А., Титову Ю.Ю. Предложенные кандидатуры были утверждены единогласно.

Было принято решение одобрить предлагаемый предварительный список кандидатов в состав членов НТС и дополнить список кандидатами, предложенными членами бюро. Окончательный список членов НТС будет опубликован после получения личного согласия на работу в Совете каждого кандидата.

Юшковым Д.Д. были предложены редакционные изменения в проект Положения о НТС, касающиеся уточнения полномочий Заместителей председателя и Учёного секретаря НТС. В проект добавлены задачи рассмотрения тем светотехнических магистерских, кандидатских и докторских диссертаций; определение актуальных и перспективных направлений научных исследований. Скорректированный проект Положения одобрен для утверждения на заседании НТС.

На заседании бюро с предложением о ближайших возможных темах обсуждения, создаваемого научно-технического Совета, выступил член бюро шеф-редактор журнала «Светотехника» Ю.Б. Айзенберг. Журнал готов предоставить информационную поддержку НТС и выносить на широкое обсуждение проблемы отрасли, поднимаемые на НТС. Среди важнейших проблем отрасли редакция видит совершенствование светотехнического образования в период прохо-

дящей в мире цифровой революции, организацию системы грантов на проведение научных исследований, разработка стандартов отрасли.

В научной части заседания бюро были заслушаны выступления В.Г. Терехова (ООО «БЛ ТРЕЙД») и заведующего лабораторией ООО «ВНИСИ» Прикупца Л.Б. по теме научных исследований по созданию высокоэффективных светодиодных фитооблучателей для светокультуры растений в рамках подготовки диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. После обсуждения было принято решение рекомендовать В.Г. Терехову прикрепление к НИУ «МЭИ» для подготовки диссертации, а Учёному секретарю НТС Снеткову В.Ю. – организовать обсуждение предполагаемой темы исследований В.Г. Терехова на научном семинаре в феврале 2017 г.

По предложению Бооса Г.В. в повестку дня заседания бюро НТС в феврале 2017 года внесено обсуждение тем магистерских диссертаций студентов НИУ «МЭИ». Обсуждение и утверждение тем магистерских диссертаций студентов 5-го курса по специальности «Светотехника и источники света» НИУ МЭИ предполагается проводить по группам работ под руководством каждого научного руководителя. Рекомендовано назначить на каждую магистерскую диссертацию представителя холдинга БЛ ГРУПП или ООО «ВНИСИ» в качестве консультанта. Представляется желательным провести аналогичное обсуждение работ студентов светотехнических специальностей других университетов: Мордовский государственный университет им. Огарёва Н.П., Томского политехнического университета.

В заключение бюро поручило:

- секретариату НТС разослать персональные приглашения кандидатам в члены НТС,
- секретариату НТС проработать вопрос об организации работы интернет-сайта НТС, регулярно размещать на сайте новости НТС,
- назначить следующее заседание бюро НТС на 3-ю неделю февраля 2017 г.,
- Учёному секретарю НТС Снеткову В.Ю. регулярно предоставлять информацию о деятельности НТС в журнал «Светотехника».

**В.Ю. Снетков, кандидат техн. наук,  
НТС «Светотехника»**

# Об экспонатах и экспонатах 22-й светотехнической выставки в Москве

С 8 по 11 ноября 2016 г. в ЦВК «Экспоцентр», в Москве, прошла 22-я Международная выставка декоративного и технического освещения, электротехники и автоматизации зданий «*Interlight Moscow powered by light+building*». Экспозиции размещались в павильонах «Форум», 1, 7 и 8. В выставке приняли участие 444 компании из 18 стран – значительно меньше, чем в прошлом году (519 и 21 соответственно). Наибольшее количество экспонентов было из России (259, включая 17 периодических изданий и два министерства), КНР (136) и Гонконга (10), Республики Корея (10).

Из российских предприятий отсутствовали такие всегдашние Выставки, как ОАО «Ардатовский светотехнический завод» и ООО «Гусевский завод светотехнической арматуры», ОАО «Гагаринский светотехнический завод» и ООО «Фирма «Индустрия», ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника», ООО «Атомсвет», ООО «Церс Прайд», ООО «Фокус» и ООО «Белый свет 2000», а ООО «МГК «Световые Технологии» представило только одно из своих многих направлений – декоративное освещение. Отсутствовали и многие немецкие компании: *Osram*, *Alanod*, *Siteco*, *RZB*, *bps Leuchtensystem*, *Trilux* и др. Однако несколько увеличилось представительство корейских компаний.

В связи со значительным уменьшением количества экспонентов обнаружить что-то существенно новое было нелегко, но достаточно интересные экспонаты, естественно, встречались. Остановлюсь на некоторых, самых запомнившихся из них.

## Источники света

«Светодиодная революция» к настоящему времени, похоже, уже свершилась, и потому «традиционные» ИС на выставке почти не экспонировались – их попросту вытеснили СД ИС. Тем не менее, новые типы «традиционных» ИС удалось найти на двух стендах в живом виде, и ещё на одном – в буклетном. Начну с последнего. ОАО «Осрам» (Смоленск) представило буклет о лампах «*Osram Plantastar*» – серии специальных НЛВД для производственного растениеводства. Лампы обеспечивают спектр излучения, наиболее эффективный для роста и развития плодово-овощных и др. культур. Лампы производятся мощностью 250, 400, 600 и 1000 Вт с цоколем *E40* или в софитном исполнении с цоколями *K12×30S* (только мощностью 1000 Вт), причём лампы мощностью 600 Вт выпускаются на сетевые напряжения 230 или 400 В. Аналогичные лампы серии «*Greenline*» в живом виде показало ОАО «Лисма» (Саранск). Параметры этих российских и не-



Рис. 2. Фрагменты стенда. «НИИИС им. А.Н. Лодыгина»



Рис. 1. Лампы «*Greenline*» и «*Megapolis*». «Лисма»

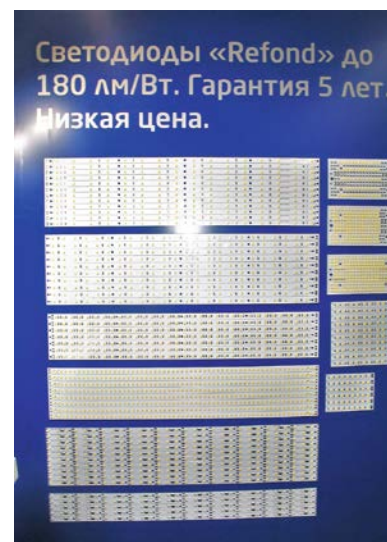


Рис. 3. Фрагмент стенда с информацией о светодиодах компании *Refond*. ГК «Светолоб»

мецких ламп удивительно одинаковы. На стенде «Лисмы» демонстрировалась ещё одна новинка: МГЛ «*Megapolis*» – мощностью 250 Вт, со



Рис. 4. Фрагмент стенда. «Гаусс»

световой отдачей 112 лм/Вт и сроком службы 24000 ч, с коррелированной цветовой температурой  $T_{кц} \approx 3000\text{ К}$  и общим индексом цветопередачи  $R_a \geq 80$  (рис. 1).

На стенде ООО «НИИИС им. А.Н. Лодыгина» (Саранск) присутствовал ряд новых ламп «традиционных» видов: линейные ртутные лампы НД с колбой из увиолевого стекла мощностью от 4 до 75 Вт, амальгамные лампы НД с колбой из кварцевого стекла мощностью 300

и 350 Вт; компактные УФ ртутные лампы НД мощностью 5, 7, 9, 11, 18, 24, 36 и 95 Вт (рис. 2). Все эти лампы (бактерицидные) предназначены для обеззараживания воздуха и воды. При этом для стабилизации параметров излучения мощных ламп (300 и 350 Вт) их колбы изнутри покрыты защитной полимерной плёнкой. Кроме того, на стенде демонстрировались модернизированные ЛЛ – амальгамные «ЛБА-15» и жёлтые «ЛЖ-18» – со специальным полимерным наружным покрытием колбы, полностью блокирующим УФ излучение разряда. Это особенно важно, в частности, в музейном освещении.

Интересно, что в ООО «НИИИС им. А.Н. Лодыгина» появились подразделения, занимающиеся рабо-

тами в области СД и управляющих устройств для них (УУ), значительно расширились возможности фотометрических, климатических и других испытаний, создан «Инжиниринговый центр энергосберегающей светотехники». В целом стенд этой организации оставил у меня одно из самых приятных впечатлений от выставки.

Если «традиционные» ИС приходилось «выискивать с микроскопом», то СД ИС были представлены на десятках стендов. Как и в прошлом году, каких-то революционных изменений параметров СД и СД ИС замечено не было.<sup>1</sup>

Пожалуй, наиболее высокие параметры СД, подтвержденные измерениями, были показаны на стенде ООО «Светолуб» (Московская обл.). В своих многочисленных разработках «Светолуб» в основном применяет маломощные СД китайской фирмы *Refond* (рис. 3). По сообщениям представителей компании, подтвержденным многочисленными протоколами измерений параметров СД и готовых осветительных приборов с ними, 180 лм/Вт – вполне реальный уровень световой отдачи. Он обеспечивается не только качеством самих СД, но и их функционированием в ослабленном режиме, гарантирующем максимум температуры в местах пайки не выше 50 °С и срок службы не менее 50000 ч. Для СД «Светолубом» разработаны УУ разной мощности, в том числе и с регулируемыми выходными параметрами.

Из СД ИС на Выставке наиболее широко были представлены СД лампы прямой замены (СДЛПЗ) ЛН. Поэтому надо особо отметить самарское ООО «ВКЛ Электрик» и московские ООО «Вартон», «ИЭК ХОЛДИНГ», «Экола» и «Гаусс». По светотехническим и многим другим параметрам СДЛПЗ этих фирм практически неразличимы. Комплектующие для них производятся в КНР или на Тайване,



Рис. 5. Фрагмент стенда. «ВКЛ Электрик»



Рис. 6. Светодиодные лампы прямой замены ламп «ДРЛ» (КНР)

<sup>1</sup> В докладе на конференции «LED-форум» (состоявшейся в рамках Выставки) директор ГП «ЦСОТ НАН Беларуси» Ю.В. Трофимов сообщил, что в мире появились лабораторные образцы белых СД со световой отдачей 330 лм/Вт! (До сих пор считалось, что теоретический предел световой отдачи белых СД – порядка 250 лм/Вт.)



Рис. 7. Светильники с безэлектродной люминесцентной лампой. «НПО «СД свет»

а сборка готовых ламп ведётся в России (рис. 4 и 5).

На многих стендах были представлены «филаментные» лампы, наиболее точно имитирующие ЛН с прозрачной колбой. По сравнению с прошлым годом появились такие лампы с  $T_{ки} \geq 4000 \text{ K}$ . При этом, например, нитевидная лампа мощностью 12 Вт по световому потоку эквивалентна ЛН мощностью 100 Вт.

Обратило на себя внимание резкое удешевление СД ламп. По прайс-листу ООО «ВКЛ Электрик» от 07.11.2016, цена лампы с цоколем E27 мощностью 15 Вт – 130 рублей (световой поток 1200 лм, то есть больше, чем у 100-ваттной ЛН), а лампы мощностью 11 Вт – 78,5 рублей (световой поток 900 лм). Близкие к этим цены назывались на стен-



Рис. 9. Подвесные светильники для бытовых и общественных помещений. «Частный светотехнический мини-кластер Terra» (вверху) и «МГК «Световые Технологии» (внизу)

дах ООО «Гаусс» и «ИЭК ХОЛДИНГ». Таким образом, СД лампы, ещё год назад бывшие недоступными для большинства населения нашей страны, стали дешевле КЛЛ с соизмеримым световым потоком.

Рядом китайских фирм были представлены мощные СД лампы (точнее, СДЛПЗ) с цоколями E27 и E40, в основном предназначенные

Даже в павильоне 7, с множеством светильников для бытовых помещений, в подавляющем большинстве экспонатов использовались СД ИС. Иногда это «напрягало», как в случае хрустальных люстр с СД холодно-белого света (рис. 8), например, но всё же чаще показывало совершенно новые возможности в создании бытовых светильников.

Примеры удачного применения СД в светильниках для жилых или общественных помещений демонстрировали ООО «МГК «Световые Технологии» и владивостокский



Рис. 8. Хрустальные люстры со светодиодами с коррелированной цветовой температурой свыше 5000 К. «Гусь-Хрустальный завод хрустальных люстр»

для замены ламп «ДРЛ» в уличных светильниках. Такая замена не менее чем вдвое сокращает расход электроэнергии на наружное освещение без ухудшения его параметров (рис. 6).

Экспозиция компании *Seoul Semiconductor* (Республика Корея) была интересна (мощные СД модули «Acrich 3» для прямого включения в сеть 220–230 В без УУ, бескорпусные WICOP-СД модули и др.), но практически повторяла прошлогоднюю.

Из российских производителей собственно СД в Выставке участвовало только орловское АО «Протон», но и на его стенде новинок обнаружить не удалось.

В целом экспозиция ИС на Выставке показала победу их нового поколения – СД ИС – над «традиционными» типами ламп.

### Осветительные приборы

На выставке практически отсутствовали ОП с «традиционными» ИС – только с СД. Как исключение, на стенде ООО «НПО «СД Свет» (Москва) были показаны два светильника для освещения производственных помещений с безэлектродными ЛЛ наподобие осрамовской «Endura» (рис. 7).

«Частный светотехнический мини-кластер Terra» (рис. 9). Очевидно, что ничего подобного на традиционных ИС создать просто невозможно.

Среди светильников с СД для производственных и административных помещений и для наружного освещения попадались интересные новинки. Так, на стенде холдинга *BL Group* выделялись уличные светильники «Победа» (рис. 10) и «Волна-Мини». СД в них включаются в сеть



Рис. 10. Светильник «Победа» без электронного управляющего устройства. *BL Group*



Рис. 11. Светильники с безрёберными радиаторами. «Светотехническая компания «ИНТЕССО»



Рис. 12. Светильники «КЕДР» с безрёберными радиаторами. «ЛЕД-Эффект»

без УУ (электронных), а в качестве токоограничительных элементов используются обычные ЭМПРА для светильников с ЛЛ и простейший диодный мостовой выпрямитель. Для сглаживания пульсаций светового потока и компенсации реактивной мощности включены два конденсатора. В результате коэффициент пульсации светового потока светильников не превышает 15 %, что вполне приемлемо для наружного освещения, соответствуя требованиям стандартов, а коэффициент мощности светильников – выше 0,9, что также соответствует нормативным тре-

бованиям. Столь простое решение не только значительно снижает себестоимость светильников с СД, но и повышает их надёжность и срок службы и облегчает конструкцию.

Оригинальные светильники с безрёберными радиаторами показало ростовское ООО «Светотехническая компания «ИНТЕССО» (рис. 11).

В светильниках используются маломощные СД, а для их охлаждения служат непосредственно корпуса светильников, на которых с использованием теплопроводной пасты установлены печатные платы с СД. Это упрощает конструкцию светильников, уменьшает их габариты, массу и, в конечном счёте, цену. «ИНТЕССО» был также представлен достаточно широкий ассортимент и других интересных светильников с СД разного назначения.

Другие варианты светильников с СД с безрёберными радиаторами демонстрировались на стенде ООО «ЛЕД-Эффект» (Москва), входящей в холдинг «Инкотекс» (рис. 12).

Светильники мощностью до 200 Вт разработаны непосредственно в «ЛЕД-Эффект» и изготавливаются по оригинальной технологии с применением композитных материалов. Параметры светильников, подтверждённые испытаниями в сертифицированных центрах, очень высо-

ки: световая отдача выше 130 лм/Вт, а температура печатных плат в местах пайки светодиодов во всех режимах не выше 70 °С, что обеспечивает срок службы не менее гарантированного производителями СД. УУ, в виде отдельного блока, вынесено за пределы светильника, что

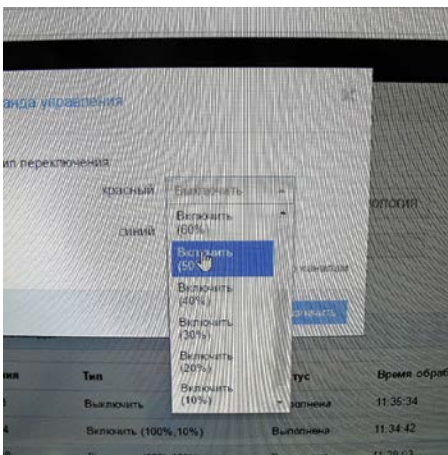


Рис. 13. Фрагмент программы управления спектром излучения облучателя. «Лед Эффект»



Рис. 14. Фрагмент стенда. «Ашасветотехника»





Рис. 15. Переносные взрывозащищённые светильники («Экотон», Москва)



Рис. 16. Автономное осветительное устройство (Steinel, Германия)

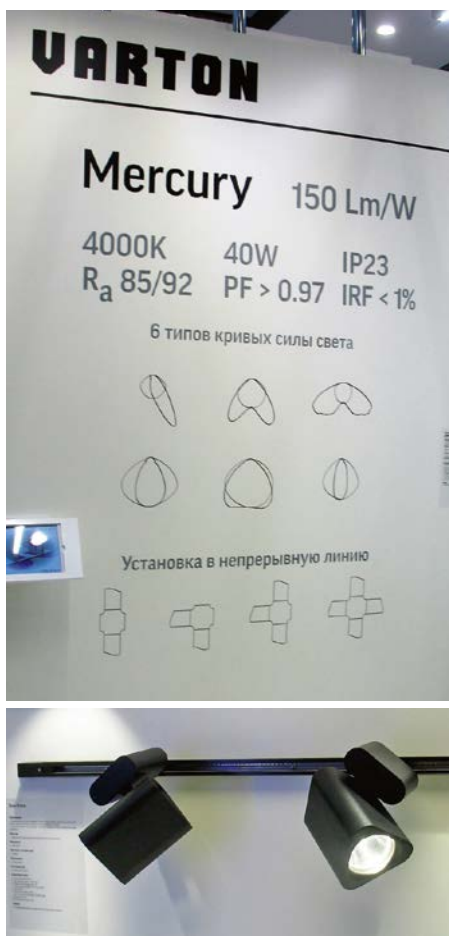


Рис. 17. Фрагменты стенда. «ТПК «Вартон»

также существенно снижает тепловую нагрузку и на УУ, и на СД. На стенде «ЛЕД-Эффект» был представлен ещё один любопытный экспонат: облучатель с СД для тепличного растениеводства с регулируемым спектром излучения. В нём установлены СД модули с «синим», «красным» и «сплошным» спектрами излучения, регулируемые независимо друг от друга. Соотношение потоков излучения модулей может управляться по специальной программе, разработанной в сотрудничестве с биологами из Института медико-биологических проблем (рис. 13), или вручную. По заключениям биологов, разный спектральный состав излучения на разных стадиях роста и развития растений

существенно повышает эффективность соответствующих облучательных установок.

Стоит отметить, что облучатели с СД для теплиц и селекционных центров в 2016 году были представлены достаточно широко, несмотря на отсутствие таких лидеров в этой области, как ООО «Атомсвет» (Москва), ООО «НПП «НФЛ» (Воронеж) и ГП «ЦСОТ НАН Беларуси» (Минск).

Интересно, что в этот раз не было ни одного нового (по сравнению с 2014 г.) экспоната с органическими СД. По-прежнему единственным представителем их был замечательный светильник на стенде ООО «МГК «Световые Технологии». (Видимо, цена таких изделий пока заоблачна.)

Целую серию светильников с СД для взрывоопасных и пожароопасных помещений показало ОАО «Ашасветотехника» (Челябинская обл.) (рис. 14), а взрывозащищённые переносные светильники – московское ООО «ПКФ «Экотон» (рис. 15).



Рис. 18. Мощные светильники. «Государственный завод «Пульсар»

На нескольких стендах, в частности на стенде немецкой компании *Steinel*, демонстрировались автономные осветительные устройства, состоящие из солнечных батарей, аккумуляторов и светильников с СД (рис. 16). Они уже применяются, и довольно широко, для освещения пешеходных дорожек. Например, в Москве такими устройствами освещены пешеходные дорожки на улице Константина Федина.

ООО «ТПК «Вартон» (Москва) представило светильники с СД собственной разработки для улиц, административных и производственных помещений, ЖКХ, а также для экспозиционного освещения (с установкой на шинопроводах) и др. (рис. 17). Особо можно отметить серию све-



Рис. 19. Светильник «Леда» с увеличительной линзой. «Трансвит»



Рис. 20. Ландшафтные светильники. «Брайтэлек»



Рис. 21. Управляющие устройства и блок аварийного питания на базе микропроцессора. «НПП «Электроника»

тильников для административных помещений модульной конструкции «Mercury» со световой отдачей до 150 лм/Вт и с шестью вариантами КСС.

Мощные светильники и прожекторы с СД модулями собственной разработки и изготовления показа-

тивных и производственных помещений, в том числе светильники серии «Леда» с увеличительной линзой, предназначенные для работы с мелкими деталями (в рукоделии, творчестве, ювелирном и часовом деле) (рис. 19). Светильники «Леда» выпускаются с одноплечевым или

ло ООО «Государственный завод «Пульсар». СД модули, мощностью до 200 Вт, собираются из импортных (в основном тайваньских) кристаллов на теплопроводных платах. Для формирования требуемых КСС используются силиконовые линзы собственной разработки (рис. 18).

Многолетний участник Выставки АО «Трансвит» (Великий Новгород) показал целый ряд светильников с СД для бытовых, административ-

двуплечевым кронштейном и крепятся к столу или верстаку обычной струбциной. Потребляемая мощность и световой поток этих светильников – 8 Вт и 750 лм соответственно.

Как и прежде, интересные светильники с СД для ландшафтного и архитектурно-художественного освещения показало московское ООО «Брайтэлек» (рис. 20).

Хочется особо отметить казанские компании, производящие светильники с СД, как правило, высокого качества: «Ферекс», «Нитеос», «Ледел» и «Энергопромсервис». Четыре крупные светотехнические компании из одного города – факт, заслуживающий внимания и уважения, тем более что казанское предприятие «Татэлектромонтаж» вообще одним из первых в России наладило выпуск светильников с СД для ЖСК.

Десятки типов светильников с СД продемонстрировали российские компании «Амира», IEK, Uniel, Gigalight, I Pro, TDM Electric и др.

В целом экспозиции ОП произвели на меня более благоприятное впечатление, чем в предыдущие годы. На стендах многих компаний чувствовался более грамотный подход к конструированию, больше доверия вызывали параметры светильников и прожекторов, подкреплённые результатами измерений в ООО «ВНИСИ», ООО «Архилайт» и других сертификационных центрах.

### Управляющие устройства и системы управления освещением, другие светотехнические изделия и материалы

В связи с практическим отсутствием «традиционных» ИС на Выстав-

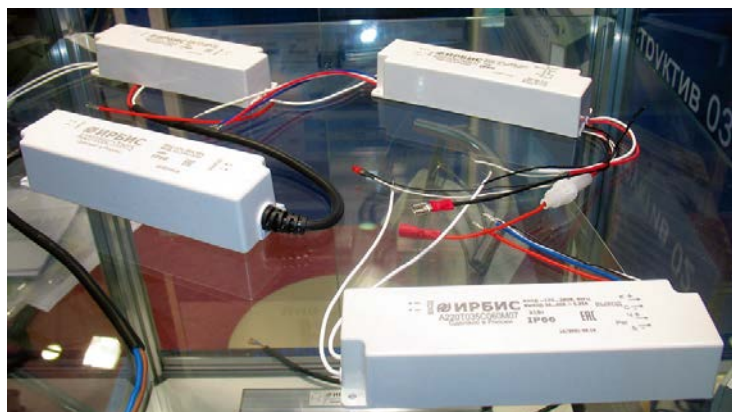


Рис. 22. Устройства управления. «ММП-Ирбис»

ке не было и новых ПРА для них. Зато УУ (так сказать «ПРА для СД ИС») встречались на десятках стендов. В первую очередь хотел бы отметить стенд ООО «НПП «Электроника» (Чебоксары), где были представлены две серии УУ – «Стандарт» и «Профи», а также блок аварийного питания светильников с СД (рис. 21). Эти изделия впервые в России (а возможно, и в мире) построены на базе микропроцессоров. Использование последних позволило создавать УУ с отличными характеристиками: КПД > 91%; коэффициент мощности > 0,98; коэффициент пульсации светового потока при любом уровне мощности < 1%; возможность программирования и дистанционного управления без прокладки дополнительных проводов; регулируемость светового потока (ступенчатая) и возможность работы в двух режимах – 100- или 10 %-ного выходного тока; соответствие требованиям евростандартов по электромагнитной совместимости в любом режиме работы.

Ассортимент УУ собственной разработки представило московское ЗАО «ММП-Ирбис» (рис. 22).

Пожалуй, наиболее широкий ассортимент УУ, датчиков и пультов управления показала ГК *Arlight*, владеющая несколькими заводами в разных странах, которые производят разнообразную продукцию – от алюминиевых профилей (польский завод *KLUS*) и СД лент до АСУ освещением. На стендах ГК *Arlight*

были представлены сотни разных датчиков (освещенности и присутствия), контроллеров, декодеров, пультов управления и других элементов АСУ, работающих по международным протоколам «DALI» и «DMX».

АСУ и все необходимые для их работы аксессуары демонстрировались на стендах ООО «Светосервис-Телемеханика» (входит в холдинг *BL Group*), российских «Агрос-Трейд» и *EKF*, немецких *Vossloh-Schwabe* и *Steinel*, итальянской *TCL* и некоторых других компаний.

Несколько шире, чем в предыдущие годы, были представлены светотехнические материалы. Место отсутствующей немецкой *Alanod* заняло ООО «АЛЮМ ИН» (Новосибирск), представив практически полный ассортимент продукции *Alanod*. Алюминиевые листы с высоким коэффициентом отражения и разными индикатрисами рассеяния «АЛЮМ ИН» производит в КНР.

ЗАО «Элмат» (Калуга) представило экструдированные рассеиватели из поликарбоната, ПММА и полистирола. Компания может делать рассеиватели методами экструзии, литья под давлением и вакуумной формовки, а также производить вакуумное напыление, окраску и другие технологические операции.

Линзы из силикона и поликарбоната и отражатели для светильников с СД демонстрировались на стендах *Ledil* (Финляндия), *Anicasting* (Республика Корея), *Mabelek* (Россия) и других компаний.

ОАО «Светоч» показало широкий ассортимент алюминиевых профилей для светильников с СД (рис. 23).

Разные алюминиевые профили представлял вышеупомянутый польский завод *KLUS*, входящий в ГК *Arlight*.

На стенде ООО «Полипласт ПКП НН» (Нижний Новгород) демонстрировались образцы пластин (в основном из полистирола) с разными рельефами поверхности и разной окраски – полуфабрикаты для недорогих светильников.

Как и все последние годы, огромный ассортимент светотехнических материалов из разных поли-



Рис. 23. Алюминиевые профили для радиаторов и корпусов светильников (фрагмент стенда). «Светоч»

меров показала итальянская компания *Gi Plast*.

На стендах компаний *TDM Electric* (Московская обл.), *Lezard* (Турция), «АББ» (контактный центр обслуживания клиентов компании *ABB* в России), *Bylectrica* (Беларусь) и других были очень широко представлены электроустановочные изделия.

Некоторые компании, в частности ООО «Русалокс» (Москва), экспонировали печатные платы для светильников с СД, в том числе алюмооксидные (с повышенной теплопроводностью).

Порадовало наличие на Выставке фотометрической аппаратуры для измерения параметров СД. Так, ООО «Смарт Системс» (Санкт-Петербург) показали широкий ряд фотометрической продукции, в основном, немецких компаний *LMT* и *GL Optic* (рис. 24). Российская же фотометрическая аппаратура, как и в 2015 г., была представлена только брошюрой ООО «Архилайт», на стенде журнала «Полупроводниковая светотехника».

\* \* \*

Несмотря на значительно меньшее число экспонентов, чем годом ранее, Выставку 2016 года можно считать успешной. Появились новые российские экспоненты, а ряд «старых», несмотря ни на что, показал устойчивость развития и немало интересных новинок (холдинг *BL Group*, ООО «ТД «Ферекс», ООО «НИИИС им. А.Н. Лодыгина», ООО «Лед-Эффект», ООО «Брайтэллек» и др.).

Очередная, 23-я, выставка «*Interlight Moscow powered by light+building*» состоится 7–10 ноября 2017 г.

**Л.П. Варфоломеев, кандидат техн. наук, член редколлегии журнала «Светотехника»**



Рис. 24. Фрагмент стенда. «Смарт Системс»

# Заседание редколлегии журнала «Светотехника»



10 ноября 2016 г. было проведено заседание редакционной коллегии журнала «Светотехника». Для удобства иногородних членов редколлегии оно состоялось в ЦВК «Экспоцентр» во время Международной выставки декоративного и технического освещения, электроники и автоматизации зданий *«Interlight Moscow powered by light+building»*. В заседании приняли участие 15 человек, включая 10 членов редколлегии.

Со стороны ООО «Редакция журнала «Светотехника» присутствовали шеф-редактор Юлиан Борисович Айзенберг, и.о. главного редактора Владимир Павлович Будак, заместитель главного редактора Раиса Иосифовна Столяревская, генеральный директор Наталья Сергеевна Шерри, старший научный редактор Евгений Исаакович Розовский, научный редактор Сергей Григорьевич Ашурков, выпускающий редактор Павел Александрович Федорищев, заведующий редакцией Людмила Васильевна Шелатуркина, менеджер-референт Марина Ивановна Титаренко и дизайнер-верстальщик Андрей Михайлович Богданов, а из приглашённых членов редколлегии – Алексей Александрович Коробко (УК «БЛ ГРУПП»), Леонид Борисович Прикупец («ВНИСИ им. С.И. Вавилова»), Констан-

тин Абрамович Томский (СПбГИКИТ), Наталья Владимировна Быстрянцева (Университет ИТМО), Павел Павлович Зак (ИБХФ РАН) и Леонид Петрович Варфоломеев.

Шеф-редактор Ю.Б. Айзенберг выразил сожаление по поводу отсутствия на заседании остальных 7 приглашённых членов редколлегии, 5 из которых – москвичи, «для которых участие в данном мероприятии не показалось обязательным».

Заседание в основном касалось следующих вопросов:

1. Представление редакционной коллегии новых сотрудников.
2. Содержание журнала № 6 за 2016 г.
3. Перспективы развития и совершенствования журнала.

Со вступительным словом по первому вопросу выступил Ю.Б. Айзенберг. Отметив неудачи в кадровой политике в первой половине 2016 г., он представил присутствующим новых сотрудников журнала: генерального директора Н.С. Шерри, и.о. главного редактора В.П. Будака и выпускающего редактора П.А. Федорищева. В последующих выступлениях каждый из новых сотрудников рассказал о себе и своих служебных обязанностях и планах.

Кроме новых сотрудников редакции, присутствующим были представлены новые члены редколлегии – кандидат архитектуры Н.В. Быстрянцева и доктор биологических наук П.П. Зак.

Оживлённый обмен мнениями вызвал третий вопрос. В частности, Н.В. Быстрянцева высказала пожелания расширить публикацию статей по архитектурному освещению и улучшить внешний вид журнала «с целью повышения его привлекательности для молодых читателей».

На заседании также было рассмотрено и одобрено предложение Ю.Б. Айзенберга впредь не менять при редактировании порядков следования фамилий соавторов на алфавитный.

Всё это, наряду с запланированными публикациями заказных обзоров по состоянию и перспективам развития основных направлений современного освещения, должно способствовать дальнейшему совершенствованию журнала, сохранению и повышению его научно-технического уровня и авторитета у учёных и специалистов.

**Л.В. Шелатуркина, инженер,  
ООО «Редакция журнала «Светотехника»**



Поздравляем  
с юбилеем!

## Светлана Михайловна Лебеdkова

26 февраля 2017 года отмечает свой знаменательный юбилей профессор кафедры светотехники «НИУ «МЭИ» С.М. Лебеdkова. Светлана Михайловна окончила МЭИ в 1971 году. Работая ассистентом, с 1985 года – доцентом, а с 2011 года – профессором кафедры светотехники, Светлана Михайловна подготовила и читала лекции по дисциплинам «Облучательные установки», «Электрическое освещение», «Архитектурное освещение», «Светотехника», «Эстетика освещения», «Фотохимические и фотобиологические технологии», «Моделирование светоцветовой среды» и «Установки архитектурного освещения и световой рекламы». Во многих курсах она проводила практические и лабораторные занятия, вела курсовое и дипломное проектирование, различные виды практик, руководила самым большим на кафедре количеством выпускных работ бакалавров и магистерских диссертаций. Её классический лекторский стиль: тщательно методически выстроенный материал, дополненный современными презентациями, умение излагать свои мысли чётко и ясно, акцентировать внимание на положениях, которые студенты должны усвоить. Педагогический талант Светланы Михайловны ощутили на себе сотни и сотни выпускников кафедры, которые уже многие годы развивают светотехнику в нашей стране и за рубежом. Читатели главного светотехнического журнала могут познакомиться с учебными пособиями МЭИ, автором или соавтором которых является юбиляр, т.к. она подготовила их по всем своим дисциплинам. Это, например, «Архитектурное освещение» (по курсу «Эстетика освещения»), 1985 г.; «Светотехнические и колориметрические расчёты для систем с электронными приборами» (по дисциплине «Свето-



техника»), 1986 г.; несколько пособий по курсу «Светотехнические и облучательные установки» 1990–1996 гг., а также – главу «Светотехника», в книге «История электротехники», 1999 г. Активную работу в этом направлении Светлана Михайловна продолжает до сих пор, являясь соавтором учебных пособий: «Проектирование светотехнической части осветительных установок» (по дисциплине «Осветительные установки»), 2013 г.; «Моделирование светового решения фасадов зданий: практикум», 2016 г.; она написала светотехнические разделы в трёх томах электротехнической энциклопедии, «Издательский дом МЭИ», 2005–2009 гг.

Также ответственно и целеустремлённо С.М. Лебеdkова занимается и научной работой. Она окончила аспирантуру под руководством профессора А.Б. Матвеева, верной и преданной ученицей которого с тех пор является. В 1980 году защитила кандидатскую диссертацию на тему «Исследование критериев цветопередачи осветительных установок в жилых помещениях». В последующие годы это направление, другие проблемы качества цветовой среды интерьеров и исследование установок архитектурного освещения стали основными, которые она продолжа-

ет вместе со своими многочисленными учениками. Одна из них, аспирантка Н.С. Пантелеева, в 2012 году защитила кандидатскую диссертацию на тему «Разработка метода количественной оценки оптимальных цветовых решений офисного пространства». Светланой Михайловной опубликовано более ста серьёзных научных статей, из них два десятка в научных журналах «Светотехника» и «Light & Engineering».

Умелая организационная деятельность С.М. Лебеdkовой всегда была востребована в МЭИ. Она работала учёным секретарём и профгруппом, ответственным за дипломное проектирование, секретарём экзаменационной комиссии по защитам выпускных работ студентов кафедры, профсоюзным работником ЭТФ и МЭИ, преподавала в профильном классе гимназии № 1 г. Балашихи Московской области. Она эффективно возглавляет отдел светотехнических установок, является ответственным за выпускные квалификационные работы студентов и издательскую деятельность на кафедре.

Поздравляя профессора Лебеdkову С.М., мы желаем ей и её близким здоровья и удачи, талантливых и целеустремлённых учеников, новых публикаций. Светлана Михайловна является ведущим преподавателем кафедры, настоящим лидером светодизайнерского направления, которое привлекает на кафедру способную молодёжь, заинтересованную в получении уникального высшего образования, сочетающего технику и элементы искусства. Она по-прежнему любима студентами, нужна и кафедре и всей отечественной светотехнике.

**Редакция журнала  
«Светотехника», преподаватели  
кафедры светотехники НИУ «МЭИ»  
и благодарные ученики**

## Нормативные требования, касающиеся освещения светодиодами

### • Свод Правил СП 52.13330.2011 [1]

**Пункт 7.3** Для искусственного освещения следует использовать энергоэкономичные источники света, отдавая предпочтение при равной мощности источникам света с наибольшей световой отдачей и сроком службы.

Применение ламп накаливания общего назначения для освещения ограничивается Федеральным законом от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ.

С 01 января 2011 года не допускается применение для освещения ламп накаливания общего назначения мощностью 100 Вт и более.

**Пункт 7.4** Для общего и местного освещения помещений следует использовать источники света с цветовой температурой от 2400 до 6800 К.

Световые приборы для общего и местного освещения со светодиодами должны иметь защитные углы или рассеиватели, исключающие попадание в поле зрения работающего прямого излучения.

**Пункт 7.5** Выбор источников света по цветовым характеристикам для производственных помещений следует производить на основании приложения 3 с учётом пунктов 7.3 и 7.4.

Для общего освещения производственных помещений следует использовать энергоэкономичные разрядные источники света и светодиоды.

**Пункт 7.18** Выбор источников света по цветовым характеристикам общественных, жилых и вспомогательных помещений следует производить на основании приложения И с учётом пунктов 7.3 и 7.4.

В учреждениях дошкольного, школьного и профессионально-технического образования, а также в основных функциональных помещениях лечебно-профилактических учреждений следует применять люминесцентные (в том числе компактные) лампы и галогенные лампы накаливания.

В остальных помещениях использование галогенных ламп накаливания для общего освещения допускается только для обеспечения

архитектурно-художественных требований.

### *Комментарий*

— В производственных помещениях освещение светодиодами разрешено.

— Требования к освещению светодиодами в сельскохозяйственных помещениях отсутствуют.

— В соответствии с письмом Роспотребнадзора [2], в отступление от пункта 7.18 СП 52.13330.2011 [1], освещение светодиодами в учреждениях дошкольного, школьного и профессионально-технического образования разрешено.

— В основных функциональных помещениях лечебно-профилактических учреждений освещение светодиодами запрещено.

— В остальных — общественных, жилых и вспомогательных — помещениях освещение светодиодами разрешено (см. приложение И).

### • Санитарные Правила и Нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585–10 [3]

**Пункт 3.1.5** Световые приборы для общего и местного освещения, предназначенные к эксплуатации со светодиодами, должны иметь защитный угол, исключающий попадание в поле зрения прямого излучения. Осветительные установки, независимо от используемых источников света и световых приборов, должны обеспечивать нормативные требования к общему искусственному освещению, изложенные в таблицах 1 и 2.

В учреждениях дошкольного, школьного и профессионально-технического образования, а также в основных функциональных помещениях лечебно-профилактических учреждений следует применять разрядные лампы и лампы накаливания.

**Пункт 3.1.9** Замена ламп накаливания на новые источники света (компактные люминесцентные лампы, светодиоды) в эксплуатируемых осветительных установках допускается при соблюдении нормативных требований (таблицы 1 и 2) к общему искусственному освещению.

### *Комментарий*

— В соответствии с письмом Роспотребнадзора [2], в отступление от пункта 3.1.5, освещение светодиодами в учреждениях дошкольного, школьного и профессионально-технического образования разрешено.

— В основных функциональных помещениях лечебно-профилактических учреждений освещение светодиодами запрещено.

В остальных — общественных, жилых и вспомогательных — помещениях освещение светодиодами разрешено.

### • Письмо Роспотребнадзора [2] (выдержки)

Для организации общего и местного искусственного освещения в общественных помещениях рекомендуется использовать в качестве источников света люминесцентные и светодиодные лампы.

С целью определения возможности применения светодиодного освещения и светодиодных светильников НИИ гигиены и охраны детей и подростков Учреждения РАМН ФГБУ «Научный центр здоровья детей» РАМН при участии сотрудников ГП «Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН» и Научно-исследовательского института строительной физики Российской Академии Архитектуры и строительных наук были проведены исследования психофизиологического воздействия светодиодного освещения и светодиодных светильников на организм человека.

Проведённые исследования показали возможность применения светодиодного освещения и светодиодных светильников в жилых и общественных зданиях.

В связи с этим органы управления образованием по субъектам Российской Федерации, юридические лица и индивидуальные предприниматели, образовательные и детские оздоровительные организации, проектные организации должны быть уведомлены о возможности обеспечения гигиенических норм освещённости, установленных СанПиН 2.4.2.2821–10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных

Таблица 1

Нормативный документ	Применение освещения светодиодами				
	Производственные здания (помещения)	Сельскохозяйственные здания (помещения)	Общественные здания (помещения)	Жилые здания (помещения)	Лечебно-профилактические учреждения
СП 52.13330.2011 [1]	+	–	+	+	См. табл. 2
СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585–10 [3]	–	–	+	+	
Письмо Роспотребнадзора № 01/11157–12–32 [2]	–	–	+	+	
СП 158.13330.2014 [4]	–	–	–	–	

Таблица 2

Нормативный документ	Применение освещения светодиодами
СП 52.13330.2011 [1]	Не разрешено в основных функциональных помещениях лечебно-профилактических учреждений
СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585–10 [2]	
Письмо Роспотребнадзора № 01/11157–12–32 [3]	Разрешено в общественных зданиях
СП 158.13330.2014 [4]	Не разрешено в медицинских помещениях, в которых осуществляется лечебно-диагностический процесс

Примечания:

+ применение освещения светодиодами разрешено

– применение освещения светодиодами не предусмотрено

учреждениях», СанПиН 2.4.3.1186–03 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации учебно-производственного процесса в образовательных учреждениях начального профессионального образования», СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий», в учреждениях общего и начального профессионального образования, а также в детских оздоровительных учреждениях, путём применения светодиодных источников света и осветительных приборов на их основе при соблюдении ряда условий.

При использовании в системах общего освещения в помещениях общественных зданий и в учебном процессе, светильники со светодиодами должны соответствовать ряду качественных и количественных показателей освещения.

#### Комментарий

Из письма [2] следует, что в жилых и общественных зданиях применение освещения светодиодами разрешено, а в лечебно-профилактических учреждениях не запрещено.

#### • Свод Правил СП 158.13330.2014 [4]

Пункт 7.7.2.1.1. В помещениях медицинских организаций, как правило, следует применять систему общего освещения. Общее освещение помещений, в которых осуществляется лечебно-диагностический процесс, как правило, выполняют люминесцентными лампами.

#### Комментарий

В помещениях медицинских организаций, в которых осуществляется лечебно-диагностический процесс, применение освещения светодиодами запрещено.

#### • Применение освещения светодиодами в России

Данные о применении освещения светодиодами в нашей стране приведены в табл. 1, а, специально, в лечебно-профилактических учреждениях – в табл. 2.

#### • О тендерах по освещению светодиодами

В России отсутствуют нормы требований к пакету документации, представляемой заказчику участниками тендеров на монтаж реконструируемых осветительных установок (ОУ) промышленных и сельскохозяйственных зданий, общих помещений жилых зданий, общественных зданий или помещений и наружных ОУ.

При этом замена «традиционных» светильников на светильники со светодиодами осуществляется чаще всего без светотехнического проекта, и притом не обеспечивается выполнение нормативных требований к количе-

Таблица 3

Изготовитель светильника со светодиодами
Протоколы светотехнических испытаний, выданные аккредитованной светотехнической лабораторией
Сертификат соответствия на электробезопасность и пожарную безопасность
Сертификат соответствия на электромагнитную совместимость
Вид установки светильника (потолочный, подвесной, настенный или встроенный)
Габаритные и установочные размеры, мм,
Масса, кг
Класс защиты от поражения электрическим током
Степень защиты <i>IP</i>
Срок службы светильника, лет (не менее 12, по пункту 5.3.5 ГОСТ [5])
Гарантийный срок, лет
Номинальное напряжение питания, В
Степень необходимости установки в отдельных светильниках блока аварийного питания (указывается в задании на проектирование)
Коэффициент мощности (по пункту 5.2 ГОСТ [5])
Активная, Вт, и полная потребляемая, ВА, мощности
Коэффициент пульсации светового потока, %
Коррелированная цветовая температура, К
Общий индекс цветопередачи $R_a$
Степень возможности расчёта освещения помещений с помощью программы « <i>DIALux</i> » с применением светотехнических данных светильника
Схема светильника, как правило, с устройством управления («драйвером»)
Изготовитель устройства управления
Срок службы устройства управления, ч (соизмеримый со сроком службы светодиодов)
Изготовитель и срок службы, ч, светодиодов
Мощность единичного светодиода, Вт, и количество светодиодов в светильнике
Особенности охлаждения светильника (с радиатором, без радиатора и др.)
Обязательства изготовителя в гарантийный и послегарантийный период
Содержание паспорта, поставляемого в упаковке светильника. Конструкция (тип) упаковки
Ориентировочная цена светильника, руб.
Дополнительные данные по требованию заказчика

ственным и качественным характеристикам осветительной установки.

Думается, участник тендера должен представлять заказчику:

а. Тендерный проект заменяющей, новой ОУ (со светодиодами), согласованный с заказчиком, содержащий:

– задание на проектирование (пункт 759 Гражданского кодекса России);

– характеристики новой ОУ и системы управления освещением;

– электротехническую часть (касательно источника питания, электрической схемы ОУ, выполнения электропроводок и обеспечения электробезопасности);

– заключение экспертизы по тендерному проекту.

б. Технические данные светильников со светодиодами согласно табл. 3.

Проект новой ОУ выполняется, как правило, в составе проекта электрооборудования здания, в котором следует указывать выполнение требований по пунктам а и б.

#### • В заключение

– В России отсутствует единый центр нормирования искусственного освещения, в том числе исключающий противоречия данных нормативных документов.

– В нормативных документах необходимо наличие также требований к освещению светодиодами в сельскохозяйственных зданиях.

– Необходимо регулярно публиковать европейские стандарты по освещению светодиодами, в том числе по его проектированию.

– Необходимо разрабатывать и внедрять устройства управления («драйверы») со сроком службы до 70000–100000 ч.

– Целесообразно регулярно публиковать статьи отечественных и зарубежных специалистов по проектированию, монтажу и эксплуатации ОУ со светодиодами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свод Правил СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95\*».

2. Письмо Роспотребнадзора от 1 октября 2012 года № 01/11157–12–32 «Об организации санитарного надзора за использованием энергосберегающих источников света».

3. Санитарные Правила и Нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585–10 «Изменения и дополнения № 1 к санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».

4. Свод Правил СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования».

5. ГОСТ Р 55705–2013 «Приборы осветительные со светодиодными источниками света».

*Р.И. Пашковский, инж.-проектировщик,  
корреспондент журнала «Светотехника»  
в Санкт-Петербурге*



## МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ В 2017 ГОДУ (I ПОЛУГОДИЕ)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
28.02–02.03	<b>Strategies in Light</b> Международная конференция с выставкой по светодиодам и освещению светодиодами	Анахайм (Калиф.), США <a href="http://www.lightsearch.com">www.lightsearch.com</a>
08–11.03	<b>Shanghai Lighting Expo 2017</b> Международная выставка светодиодных технологий и наружного освещения светодиодами	Шанхай, КНР <a href="https://expomap.ru">https://expomap.ru</a>
28.02–03.03	<b>Фотоника. Мир лазеров и оптики 2017</b> Международная специализированная выставка оптической, лазерной и оптоэлектронной техники	Москва, РФ <a href="https://expomap.ru">https://expomap.ru</a>
04–09.04	<b>Euroluce 2017</b> Международная светотехническая выставка	Милан, Италия <a href="https://expomap.ru">https://expomap.ru</a>
17–20.04	<b>Электро 2017</b> Международная выставка «Электрооборудование. Светотехника. Автоматизация зданий и сооружений»	Москва, РФ <a href="https://expomap.ru">https://expomap.ru</a>
25–27.04	<b>ЭлектронТехЭкспо 2017</b> Международная выставка технологического оборудования и материалов для производства изделий электронной и электротехнической промышленности	Москва, РФ <a href="https://expomap.ru">https://expomap.ru</a>
24–28.05	<b>АРХ Москва 2017</b> Международная выставка архитектуры, строительства и дизайна	Москва, РФ <a href="https://expomap.ru">https://expomap.ru</a>
05–08.06	<b>Мир стекла 2017</b> Международная выставка стеклопродукции, технологий и оборудования для изготовления и обработки стекла	Москва, РФ <a href="https://expomap.ru">https://expomap.ru</a>
07–08.06	<b>SEMICON Russia 2017</b> Международная выставка оборудования, материалов и технологий для полупроводниковой промышленности и фотовольтаики	Москва, РФ <a href="https://expomap.ru">https://expomap.ru</a>
09–12.06	<b>Guangzhou International Lighting Exhibition (GILE)</b> 21-я Международная светотехническая выставка с конференцией	Гуанчжоу, КНР <a href="http://www.lightsearch.com">www.lightsearch.com</a>

# ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества

## ГЕНЕРАЛЬНЫЕ



Холдинг **BL GROUP**



## ПЛАТИНОВЫЕ



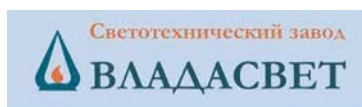
ГЛОБАЛ  
ЛАЙТИНГ

## ЗОЛОТЫЕ

**FAGERHULT**



## СЕРЕБРЯНЫЕ



## БРОНЗОВЫЕ



TENZOSENSOR



## СВЕТИЛЬНИК СО СВЕТОДИОДАМИ ЮНИОР

аналог ЛВО, ЛПО 4x18



### Освещение образовательных учреждений

Школы, детские сады, высшие учебные заведения.

IP20 ⏱ 50 000 ч

LED ⚡ 35 Вт

ГАРАНТИЯ

Напряжение: 220 (196-264) В

Частота: 50 Гц

Коэффициент мощности  $\geq 0,98$

Индекс цветопередачи: 80

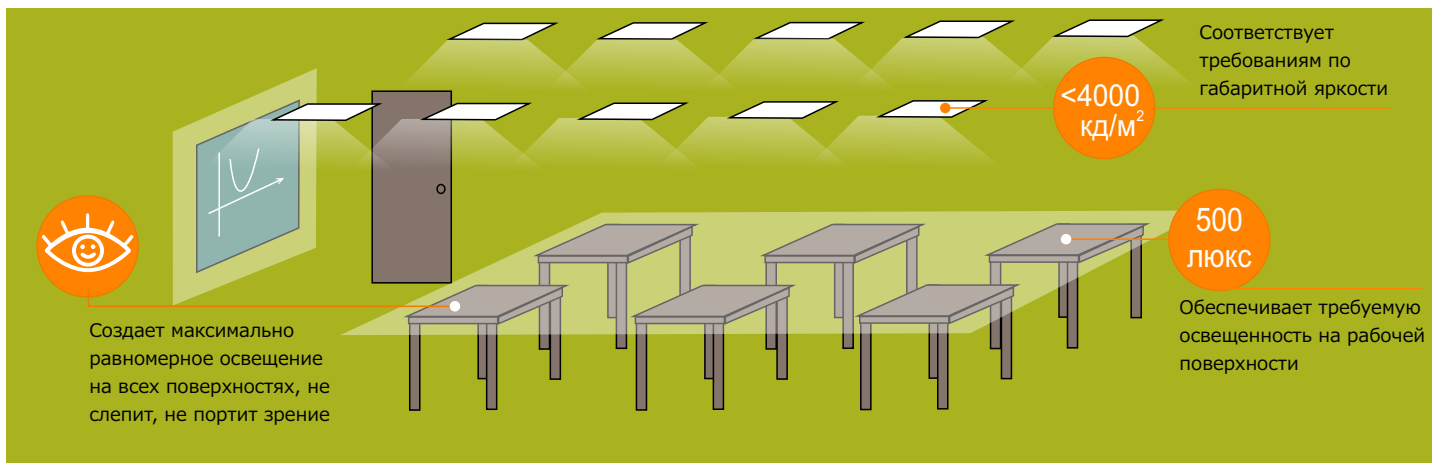
Цветовая температура: 4000 К

Коэффициент пульсаций: не более 2%

Мощность светодиодов: менее 0,2 Вт



- ▶ Соответствует требованиям ГОСТ-Р-54350-2015, предъявляемым к светильникам для детских учреждений
- ▶ Соответствует требованиям письма Руководителя Роспотребнадзора Г.Г.Онищенко от 01.10.2012 № 01/11157-12-32 «Об организации санитарного надзора за использованием энергосберегающих источников света»
- ▶ Тип крепления: встраиваемый/потолочный
- ▶ Рассеиватель: микропризма-опал



### ТАБЛИЦА МОДИФИКАЦИЙ:

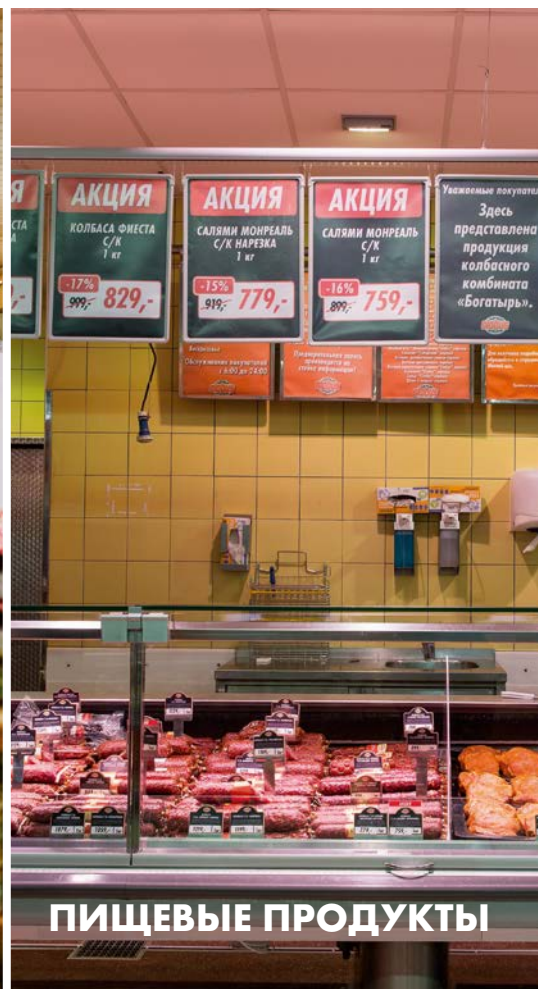
НАИМЕНОВАНИЕ	АРТИКУЛ	НАЗНАЧЕНИЕ	МОЩНОСТЬ, ВТ	СВЕТОВОЙ ПОТОК, ЛМ	ГАБАРИТЫ, ММ -ДхШхВ
GALAD Юниор 600 LED-35/П/М/4000	1003835	освещение классов	35	3150	595x595x65
GALAD Юниор 1200 LED-35/П/М/4000	1003833	освещение коридоров	35	3100	1195x295x65



**ОДЕЖДА**



**СУПЕРМАРКЕТ**



**ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ**

**Один СД модуль для любых задач освещения в торговле**

**«LUGA Shop Gen. 5»**

- Модули «Standard» и «Hi-CRI» (высокий индекс цветопередачи)
- Модули «Pearl White» и «Clear White» – для магазинов одежды
- Специальный оттенок света: «FOOD»

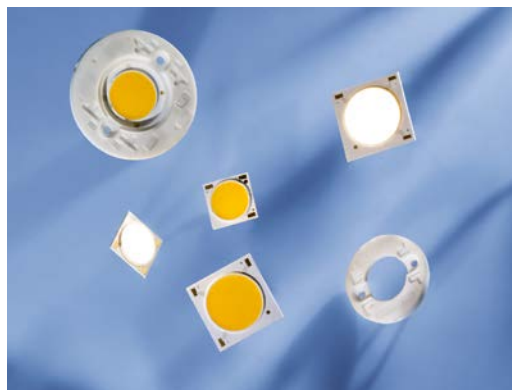
■ **ДЛИТЕЛЬНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ:**  
ДО 100.000 Ч

■ **МИНИМАЛЬНОЕ ОТКЛОНЕНИЯ ЦВЕТА:**  
2 ШАГА МАКАДАМА (ТИП. R<sub>a</sub> 85/95)

■ **ВЫСОКАЯ СВЕТОВАЯ ОТДАЧА:**  
ДО 180 ЛМ/Вт

■ **НАДЁЖНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИЗОЛЯЦИЯ,**  
**БЛАГОДАРЯ СОВ ТЕХНОЛОГИИ**

■ **ИСПОЛНЕНИЕ ДЛЯ ВСТРАИВАНИЯ (ЕДИНЫЙ БЛОК):** МОДУЛЬ + ПРОВОДА + ДЕРЖАТЕЛЬ



**Система «LUGA Shop Gen. 5»**

СИД модули + держатели + соединительные провода + защёлки + СИД блоки питания